



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Rute Patrícia Subtil Santo

PLANEAMENTO DE REDES DE COMPANHIAS AÉREAS

AIRLINE NETWORK PLANNING

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, na área de Especialização em Urbanismo, Transportes e Vias de Comunicação,
orientada pelo Professor Doutor António José Pais Antunes

Esta Dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor.
O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer
responsabilidade, legal ou outra, em relação a erros ou omissões
que possa conter.

Coimbra, 7 de junho de 2018

AGRADECIMENTOS

Com o fim deste percurso académico só me resta agradecer a todas as pessoas que nele estiveram envolvidas e contribuíram para que isto fosse possível.

Desde já agradeço ao Professor António Pais Antunes, por todo o conhecimento transmitido e pela disponibilidade mostrada ao longo destes meses de trabalho.

Aos meus pais pelos melhores valores transmitidos e que me permitiram chegar sempre mais além. Por todo o seu apoio incondicional nos bons e maus momentos e simplesmente por me terem proporcionado tudo isto, o meu obrigada.

A toda a minha restante família e em especial à minha irmã, por todo o apoio dado e por ter sido sempre um orgulho e um modelo a seguir. À Camila, pela sua energia contagiante e que me proporciona os melhores sorrisos.

A todos os amigos que Coimbra me deu, à Baião, David, Teresa, Rita, Mariana, por toda amizade e cumplicidade, por cada festa e cada estudo, é certo que vos vou levar para a vida.

Ao Duarte, por todo o carinho, apoio e paciência, por tudo o que é e significa, por ter sempre uma palavra certa e de conforto em todos os momentos. *“The journey of a thousand miles begins with one step”*.

RESUMO

Para uma companhia aérea é importante tomar decisões que potenciem o sucesso da mesma. Dentro destas decisões, destaca-se a construção da sua rede de voos como uma das mais importantes. A preparação de um plano estratégico onde são definidos quais os mercados a servir e quais as frequências com que estes serão servidos são a base de um planeamento inicial de qualquer companhia aérea. Nesta dissertação será feita uma otimização, com o objetivo de apoio à decisão das companhias aéreas no que diz respeito à construção da sua rede e frequência de voos, considerando uma procura e frota existente. Esta frota será fixa para uma primeira abordagem e seguidamente aumentada por forma a poderem ser retiradas algumas conclusões. Será apresentado um conjunto de destinos iniciais que já pertencem à rede na qual este estudo se irá basear, seguidos da proposta de expansão de novos possíveis mercados a servir. Os resultados obtidos mostram que alguns dos mercados atualmente servidos não são rentáveis à companhia, podendo alguns ser retirados da rede e introduzir novos com maior rentabilidade. Este estudo teve por base a rede europeia da companhia aérea portuguesa TAP, mas focada maioritariamente em capitais europeias e outros mercados importantes para a companhia.

Palavras-chave: Planeamento de Redes Aéreas, Frequências de Voos, Otimização, Transportes Aéreos, Companhias Aéreas

ABSTRACT

For an airline company it's crucial to make decisions that lead them to success. Within this decision, the construction of its network stands out as one of the most important. The formulation of a strategic plan that defines which markets to serve and the correspondent frequencies with which they will be served are the basis of an initial planning of any airline. This dissertation will propose an optimization tool which supports airline's decisions on its network and correspondent flight frequency, using data such as passenger demand and existing fleet. Firstly, the fleet will be fixed and then the fleet will be increased so that some conclusions can be drawn. It will be presented a set of destinations that already belong to the network on which the study will be based, followed by the proposed expansion of new possible markets to serve. The results show that some markets that are currently being served are not profitable and some of which may be removed from the network. On the other hand, the model suggests some profitable new destinations, as options to be included on the route network. This study was based on the European network of the Portuguese airline TAP but focused mainly on European capitals and other key markets for the company.

Key words: Airline Network Design, Flight Frequency, Optimization, Air transportation, Airline Industry

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
ÍNDICE.....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE TABELAS	v
SIMBOLOGIA	vi
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Enquadramento do Tema	1
1.1.1 O Setor da Aviação na Atualidade	1
1.1.2 A Evolução da Aviação	2
1.1.3 Tipos de Redes	4
1.1.4 Planeamento Estratégico de Redes	5
1.2 Objetivos da Dissertação	6
1.3 Estrutura da Dissertação	6
2 PROBLEMÁTICA DO PLANEAMENTO DE REDES	8
2.1 Fases do Planeamento das Companhias Aéreas	8
2.2 Problemas no Processo de Planeamento.....	10
3 O CASO DA REDE EUROPEIA DA TAP	12
3.1 Destinos	13
3.2 Frequências	14
3.3 Frota Usada	15
4 MODELOS DE PLANEAMENTO DE REDES	17
4.1 Modelos Existentes	17
4.2 Modelo Proposto.....	18
5 APLICAÇÃO DO MODELO AO CASO DA REDE EUROPEIA DA TAP.....	22
5.1 Dados	22
5.1.1 Frota.....	22
5.1.2 Custos Operacionais	23
5.1.3 Preços	24
5.1.4 Distâncias	25
5.1.5 Procura.....	26

5.2	Resultados do Modelo	31
5.2.1	Situação Atual	31
5.2.2	Novos Mercados	33
5.2.3	Variação da Procura.....	35
5.2.4	Variação do Preço dos Bilhetes	37
5.2.5	Variação da Frota.....	40
6	CONCLUSÃO.....	45
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
	ANEXOS.....	49
	Anexo A – Matriz de coordenadas e distâncias de todos os destinos.....	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Tráfego anual mundial expresso em passageiros transportados. Fonte: “Annual Analyses of the EU Air Transport Market 2016” European Commission (2017).....	2
Figura 1.2 – Evolução das aeronaves ao longo dos tempos. Fonte: Bejan et al. (2014)	4
Figura 1.3 - Rede <i>point-to-point</i> à esquerda e rede <i>hub-and-spoke</i> à direita. Fonte : (Lederer e Nambimadom, 1998).....	4
Figura 2.1 – Níveis de planeamento de uma companhia aérea	9
Figura 3.1 - Mapa de destinos europeus da rede TAP.....	13
Figura 5.1 – Mapa de rotas pertencentes atualmente à companhia	26
Figura 5.2 – Relação entre o fluxo de tráfego observado e modelado	29
Figura 5.3 – Mapa de novas rotas propostas para a rede da companhia.....	31

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1- Número de voos semanais efetuados pela TAP a partir de Lisboa para a rede europeia	15
Tabela 3.2 - Idade das aeronaves da frota da TAP Air Portugal	16
Tabela 5.1 - Características das aeronaves inseridas no modelo	22
Tabela 5.2 - Preços dos bilhetes dos mercados existentes.....	24
Tabela 5.3 – Preços dos bilhetes dos novos mercados	25
Tabela 5.4 - Procura diária para cada par OD	27
Tabela 5.5 – Número de voos diários e valores da procura de passageiros observado e modelado após regressão linear para destinos existentes.....	29
Tabela 5.6 – Valores da procura modelados para destinos existentes.....	30
Tabela 5.7 – Valores da procura modelados para novos destinos	30
Tabela 5.8 – Número de frequências diárias para os mercados existentes.....	32
Tabela 5.9 – Número de frequências diárias para mercados existentes e novos e respetivos lucros	34
Tabela 5.10 - Número de frequências diárias para mercados existentes e novos e respetivos lucros sem OTP e MXP.....	35
Tabela 5.11 – Frequências diárias e lucros para a variação da procura.....	36
Tabela 5.12 – Aumento do preço dos bilhetes para destinos existentes não lucrativos	38
Tabela 5.13 – Aumento do preço dos bilhetes para os novos destinos	39
Tabela 5.14 – Acréscimo de cinco aeronaves à frota da companhia.....	41
Tabela 5.15 – Acréscimo de dez aeronaves à frota da companhia.....	42
Tabela 5.16 – Acréscimo de cinco e dez novas aeronaves retirando as rotas OTP e MXP	44

SIMBOLOGIA

- A_m – Parâmetro que devolve o resultado 10.000 se $D_{jk} \leq R_m$ ou zero se $D_{jk} > R_m$
 C_{jk} – Custo que da viagem entre j e k para o passageiro dado em (€)
 CO_{jk} – Custos operacionais de operar uma aeronave do tipo m da origem j para o destino k
 D_{jk} – Distância em (km) entre j e k
 FS_m – Número de aeronaves do tipo m pertencentes à companhia
 P_{jk} – Preço do bilhete entre j e k dado em (€) do modelo
 Q_{jk} – Fluxo de tráfego diário de passageiros entre o aeroporto j e o aeroporto k
 R_m – Autonomia de uma aeronave do tipo m
 RT – Raio da Terra dado em (km)
 S_m – Número de lugares disponíveis em cada aeronave do tipo m
 t_{jk} – Tempo efetivo de voo entre j e k dado em horas
 T_m – *Turnaround time* de cada aeronave do tipo m
 F_j – Número de voos no aeroporto j
 F_k – Número de voos no aeroporto k
 V_m – Velocidade máxima de cada aeronave do tipo m
 X_{jkm} – Variável de decisão que determina o número de voos diários com origem no aeroporto j e destino a um aeroporto k , efetuados por uma aeronave do tipo m
 Y_{jk} – Variável de decisão que representa a procura e que para os casos em que a procura terá de ser totalmente satisfeita assume $Y_{jk} = Q_{jk}$, caso a procura não tenha de ser totalmente satisfeita assume $Y_{jk} \leq Q_{jk}$
 Z_m – Variável de decisão respeitante ao número de aeronaves do tipo m
 α – Parâmetro de calibração do modelo gravitacional
 β – Parâmetro de calibração do modelo gravitacional
 γ – Parâmetro de calibração do modelo gravitacional
 ϑ_j – Longitude de j
 ϑ_k – Longitude de k
 φ_j – Latitude de j
 φ_k – Latitude de k

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do Tema

As seguintes seções têm como objetivo a introdução do tema abordado nesta dissertação. Primeiro serão apresentados dados económicos atuais e algumas projeções futuras. De seguida será feita uma breve recolha da história da aviação, factos importantes e evolução das aeronaves até à atualidade. Para terminar a apresentação do tema são mostrados os diferentes tipos de redes adotadas pelas companhias aéreas e aspetos do planeamento das mesmas.

Esta dissertação irá incidir sobre o planeamento de redes de companhias aéreas. Com o constante crescimento da procura no transporte aéreo, é importante que as companhias tenham as ferramentas adequadas e façam este planeamento de forma a acompanhar as evoluções do mercado, tendo por objetivo maximizar os seus lucros.

1.1.1 O Setor da Aviação na Atualidade

A aviação é um setor em contínua expansão e mudança que contribuí significativamente para o desenvolvimento social e económico. De acordo com dados recentes é constituído por 1397 companhias aéreas que operam frotas que totalizam 25 mil aeronaves num total de 3864 aeroportos. Direta e indiretamente o setor gera emprego a cerca de 62,7 milhões de pessoas contribuindo para o PIB global em 3,5% o correspondente a cerca de 2,7 biliões de dólares (ATAG, 2014).

No ano de 2016, o número de passageiros transportados cresceu 6,3% relativamente a 2015, atingindo o marco de 3,7 mil milhões de passageiros. Em Portugal deu-se um crescimento de 14,2% o que se traduz em cerca de 44,5 milhões de passageiros em todos os aeroportos portugueses, com destaque para o aeroporto de Lisboa que gerou um tráfego de aproximadamente 22 milhões de passageiros, representando cerca de metade do mercado português.

Segundo previsões do *International Civil Aviation Organization* (ICAO, 2018) a longo prazo, será expectável que no ano de 2040 o tráfego veja um aumento, atingindo os 10 mil milhões de passageiros transportados.

Na Figura 1.1 pode ver-se a evolução do tráfego aéreo ao longo dos anos, bem como alguns marcos importantes que tiveram influência nessa evolução.

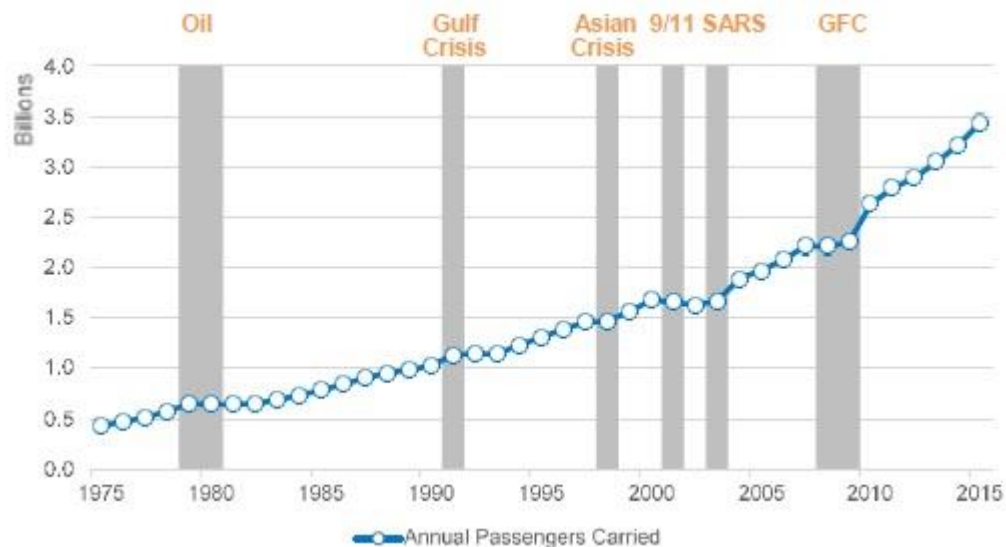


Figura 1.1 – Tráfego anual mundial expresso em passageiros transportados. Fonte: “Annual Analyses of the EU Air Transport Market 2016” European Commission (2017)

1.1.2 A Evolução da Aviação

Começando no ano de 1903, que marca o início das viagens aéreas, passando por 1914 em que é efetuado o primeiro voo de passageiros, o transporte aéreo é caracterizado por uma grande evolução na forma como as pessoas viajam.

Atualmente a rota mais longa, que é efetuada entre Auckland e Doha pela companhia Qatar Airways percorre 14.535 km, correspondendo também ao voo de maior duração, 18 horas e 20 minutos.

O setor da aviação ficou marcado em 1978 pelo “*Airline Deregulation Act*”, nos EUA, dando-se assim início a uma era de mercado livre, quando outrora era bastante controlado pelo *Civil Aeronautics Board* (CAB). Assim, e a partir desta data, houve um aumento de competitividade entre as companhias, levando muitas delas a fazer a reestruturação das suas redes de rotas por forma a tornarem-se mais eficientes e competitivas (Shaw, 1993).

Cerca de uma década após a desregulamentação do espaço aéreo nos EUA, dá-se a desregulamentação na Europa de uma forma faseada, ocorrendo a desregulamentação total em 1997 (Alderighi et al., 2007).

Ao longo da sua história, o setor vivenciou vários marcos que levaram a quedas de lucros. O evento de 11 de setembro 2001 veio aumentar os problemas para as companhias aéreas, levando a uma redução de clientes e aumento dos custos operacionais. O abrandamento mais recente dá-se pouco depois do início do século XXI, com o transporte aéreo a ter de lidar com os efeitos de uma forte recessão económica. Globalmente e como consequência não se observaram lucros no setor até ao ano de 2006.

A evolução do setor liga-se diretamente à evolução das aeronaves. Ao longo de aproximadamente cem anos, desde o primeiro voo comercial, as aeronaves têm evoluído no sentido de ficarem maiores e mais eficientes. Na Figura 1.2 está representada a evolução das aeronaves ao longo do tempo, bem como a carga máxima com que a aeronave poderá descolar.

Em Bejan et al. (2014), é feita uma comparação das características das aeronaves ao longo de aproximadamente cem anos. A primeira aeronave referida, Farman F60 Goliath, é do ano 1919, com capacidade de transporte de 14 passageiros e uma autonomia de voo de 400km. O primeiro modelo Boeing a aparecer é o Boeing 247, em 1933, com uma capacidade de 10 passageiros e uma autonomia de 1.200 km, apresentando um consumo de combustível de 24,3 litros por lugar por cada 100 km. A partir desta altura há uma grande evolução das aeronaves em todos os seus aspetos, como capacidade, autonomia e eficiência, diminuindo assim os consumos de combustíveis. Em 1972 há o aparecimento do primeiro Airbus 300 para o qual se verifica um consumo de combustível de 2,5 litros por lugar por cada 100 km. A maior aeronave comercial, o Airbus 380, pertence também à companhia europeia, sendo capaz de transportar 857 passageiros com uma autonomia de 15.400 km e um consumo de 2,4 litros por lugar por cada 100 km.

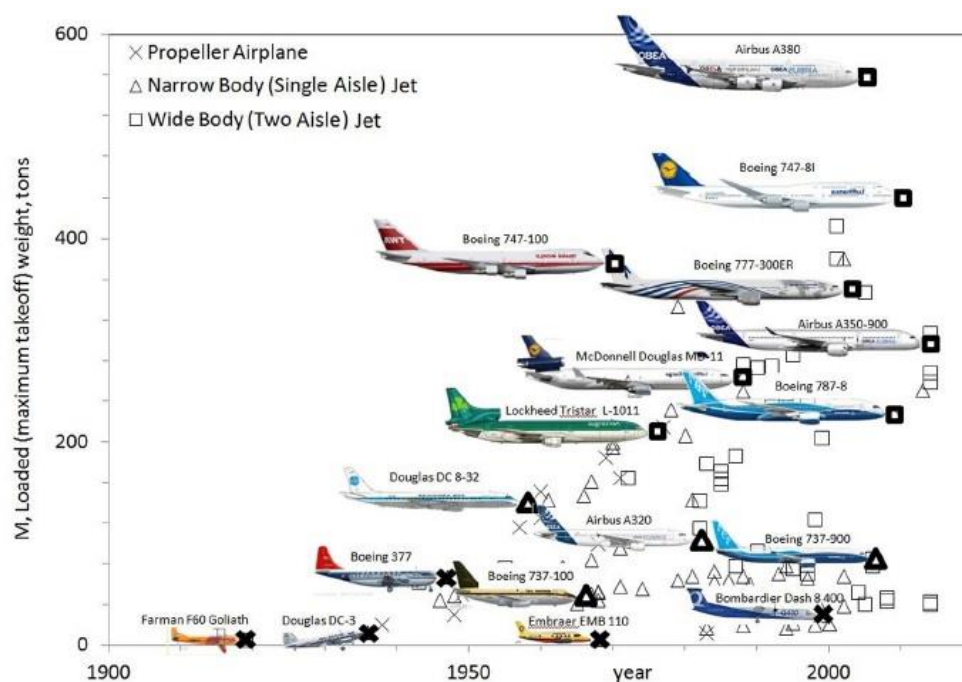


Figura 1.2 – Evolução das aeronaves ao longo dos tempos. Fonte: Bejan et al. (2014)

1.1.3 Tipos de Redes

Um dos aspetos que as companhias aéreas têm de planear é construção da sua rede de voos. A escolha de um tipo de rede adequado será uma das questões iniciais mais importantes para as companhias poderem apresentar lucros. As redes de voos de uma companhia aérea são desenhadas com base em duas diferentes tipologias, as redes *hub-and-spoke* e as redes *point-to-point*, como mostra a Figura 1.3.

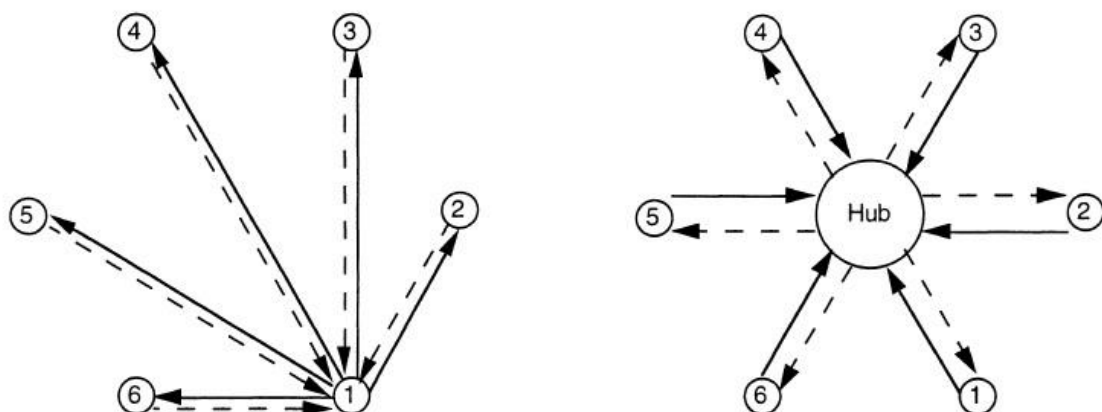


Figura 1.3 - Rede *point-to-point* à esquerda e rede *hub-and-spoke* à direita. Fonte : (Lederer e Nambimadom, 1998)

As redes *hub-and-spoke*, marcaram a era pós desregulamentação para as companhias aéreas, levando a uma adoção desta tipologia de rede por muitas delas (Oum et al., 1995). São inúmeros os estudos sobre este tipo de redes, mas poucos no que diz respeito ao tipo de redes *point-to-point*, onde a bibliografia se apresenta bastante limitada

Uma rede *hub-and-spoke* caracteriza-se de forma que os passageiros são transportados dos vários *spokes* para os *hubs*, onde nestes fazem a ligação para o seu destino final. Já numa rede *point-to-point* não existem pontos intermédios na rede, estando todos os pontos ligados entre si, ou seja, os passageiros voam diretamente para o seu destino final.

Lederer e Nambimadom (1998) apresentaram ainda algumas características que poderiam levar à escolha de um tipo de rede adequada para um dado mercado. Foi demonstrado que parâmetros como a distância e o número de cidades servidas pela rede influenciam a escolha do tipo de rede que melhor se adequa a cada situação. Algumas conclusões apresentadas foram que, para uma rede do tipo *point-to-point*, em que os voos são *non-stop*, a frequência de voos é menor, mas, no entanto, há menos atrasos. A escolha deste tipo de redes também é indicada para mercados com elevada procura e em que o número de ligações for pequeno. As redes de tipologia *hub-and-spoke* devem ser consideradas quando a distância entre cidades for intermédia e o número de destinos a servir for elevado.

Para esta dissertação, a rede usada terá como inspiração a rede europeia da companhia aérea TAP Air Portugal, uma rede do tipo *point-to-point*, com uma base (*hub*) no aeroporto de Lisboa.

1.1.4 Planeamento Estratégico de Redes

O processo de planeamento das companhias aéreas desenvolve-se em três níveis: o estratégico, o tático e o operacional.

O planeamento estratégico de uma companhia aérea é o primeiro a ser feito. Nesta etapa, as companhias aéreas fazem planeamentos para períodos mais longos, com horizonte de cinco ou mais anos. É neste nível que é feito o desenho da sua rede de voos. São determinados quais os mercados a serem servidos e qual a tipologia de rede (*point-to-point* ou *hub-and-spoke*) que a companhia irá adotar. Para este planeamento é necessário conhecer a dimensão dos mercados no que diz respeito à procura de passageiros por forma a serem feitas previsões adequadas. Adicionalmente será ainda necessário determinar o tamanho da frota adequado às necessidades da companhia, incluindo o tipo e quantidade de aeronaves a adquirir ou alugar.

O trabalho desenvolvido nesta dissertação irá incidir na sua maioria no planeamento estratégico de uma companhia, determinando os mercados a serem servidos, com uma frota fixa e utilizando dados de procura de passageiros ajustados.

1.2 Objetivos da Dissertação

Esta dissertação tem por objetivo fornecer às companhias aéreas uma ferramenta, que as apoie quando têm de ser tomadas decisões ao nível de planeamento estratégico, nomeadamente na construção da sua rede ótima de voos.

Será desenvolvido um modelo de otimização com aplicabilidade a um caso real baseado na rede europeia da TAP. O objetivo deste modelo será o de maximizar o lucro da companhia aérea para um conjunto de restrições impostas. Assim, serão determinados quais os mercados que devem ser servidos pela companhia, analisando destinos já existentes na rede e possível abertura de novos. Adicionalmente serão determinadas as frequências ótimas para cada rota e para cada aeronave dada uma frota fixa.

A exploração de vários cenários, permitirá a execução de uma análise de sensibilidade e consequentes influências nos resultados finais.

1.3 Estrutura da Dissertação

A dissertação está organizada em seis capítulos. Neste primeiro capítulo é feito um enquadramento geral do tema, fazendo ainda alguma revisão da literatura no que diz respeito aos tipos de redes existentes e fases de planeamento das mesmas. São ainda neste capítulo apresentados os objetivos do trabalho e a estrutura do mesmo.

No segundo capítulo é apresentada a problemática do planeamento de redes aéreas. São abordados assuntos como a incerteza na indústria aérea e tudo o que dela advém e ainda a questão da introdução das alianças no planeamento das companhias.

No terceiro capítulo será feita uma descrição geral da companhia aérea TAP Air Portugal, referindo-se algumas particularidades da mesma. Serão ainda apresentados dados necessários à formulação do problema nos capítulos seguintes.

No quarto capítulo é feita uma revisão bibliográfica de modelos matemáticos existentes para o planeamento de redes de companhia aéreas e é apresentado o modelo desenvolvido para estudar possíveis evoluções da rede da TAP.

No quinto capítulo são apresentados todos os dados utilizados no estudo de caso considerado e serão explicados os resultados obtidos através da aplicação do modelo, nas condições que se consideram de referência e para vários cenários alternativos.

O sexto capítulo, apresenta as conclusões gerais sobre o trabalho realizado e possíveis propostas para estudos futuros.

2 PROBLEMÁTICA DO PLANEAMENTO DE REDES

2.1 Fases do Planeamento das Companhias Aéreas

No processo de planeamento de uma companhia aérea são tomadas decisões cruciais e que poderão determinar o sucesso das mesmas. É por isso necessário fazer um planeamento a vários níveis, estratégico, tático e operacional, que correspondam às necessidades reais da companhia. Aquando deste planeamento, é importante que as empresas o façam de modo a fazer face a todos os problemas e diversos cenários que possam surgir e eventualmente não programados. A incerteza no setor aéreo faz com que um planeamento flexível e que considere vários cenários seja chave para o sucesso das companhias.

De acordo com Belobaba (2009), as fases de decisão mais importantes para a companhia serão as que correspondem a um nível estratégico, ou seja, o planeamento da frota e o planeamento da rede (incluindo a determinação da frequência de voos).

Este planeamento estratégico começará essencialmente por determinar a frota a utilizar, ou seja, quantas aeronaves serão necessárias adquirir ou alugar e de que tipo. O objetivo será rentabilizar ao máximo a ocupação das aeronaves considerando os vários mercados a servir. É importante referir que esta é uma fase em que há o maior investimento, tendo assim um impacto financeiro elevado para a companhia aérea. No que determina a escolha da frota a ser utilizada pelas companhias são identificados vários fatores: características e categorias das aeronaves, características técnicas e de desempenho e ainda a vertente económica e financeira. Estes fatores serão avaliados por forma a fazer a escolha que melhor sirva a rede da companhia.

O passo seguinte ao planeamento da frota da companhia será o de planeamento das suas rotas, ou seja, quais mercados a servir. Assim, nesta fase é necessário efetuar estudos de previsão de procura e receitas de forma a identificar os mercados mais rentáveis bem como a quota de mercado que a companhia poderá vir a conseguir. Nesta etapa é relevante considerar outros aspetos que poderão ser limitantes, tais como disponibilidade de *slots* e acordos e alianças com outras companhias aéreas. Nesta fase também será tomada a decisão no que diz respeito à tipologia da rede a implementar - *hub-and-spoke*, *point-to-point* ou mista.

Após o planeamento estratégico de longo prazo para a companhia, segue-se o planeamento ao nível tático e que deverá ser realizado tendo por referência horizontes entre um ano e uma semana. Esta etapa prende-se na definição dos horários de partida e chegada dos voos da companhia, a atribuição de aeronaves e tripulações aos voos e ao planeamento da rotação (manutenção) das aeronaves.

Por fim, o nível operacional corresponde a um planeamento feito a uma semana ou em tempo real. É a este nível que são determinadas as rotas para os voos e a necessidade de combustível para os mesmos, e reprogramação de horários, frota e tripulações em caso de ocorrência de imprevistos (por exemplo, problemas causados pelas condições climáticas e pela ocorrência de avarias) e ainda a gestão de receitas (*revenue management*)¹.

Na Figura 2.1 são apresentados os vários níveis de planeamento e os seus aspetos mais importantes destes.

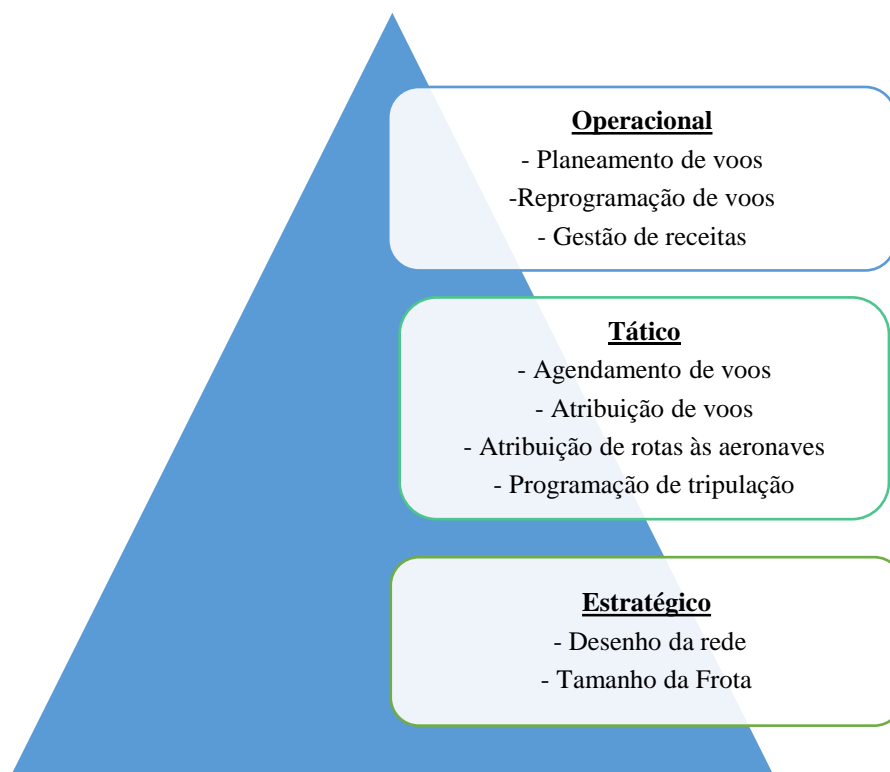


Figura 2.1 – Níveis de planeamento de uma companhia aérea

¹ *Revenue management* – Determina o número de lugares em cada voo para cada tipo de tarifa. Limita lugares de tarifas baixas, reservando-os para passageiros de última hora que irão pagar uma tarifa mais alta.

2.2 Problemas no Processo de Planeamento

Quando se fala no planeamento de uma rede aérea, um dos aspetos que terá de se ter em conta é a incerteza. A IATA - *International Air Transport Association* (2017), através de um estudo, identificou vários fatores que poderão causar um elevado impacto até ao ano 2035, entre os quais se destacam: energias e combustíveis alternativos, preço do petróleo, cibersegurança, ativismo ambiental, regulamentação internacional para emissões e níveis de ruído, eventos meteorológicos extremos, instabilidade política, epidemias e doenças infecciosas, suscetibilidade e volatilidade da economia global e terrorismo. Ainda no *Management Report* da TAP (2016), foram identificados vários tipos de riscos separados em duas categorias, riscos internos e riscos externos, sendo estes últimos aqueles que ocorrem devido a fatores exógenos e a que a companhia terá de se adaptar caso se concretizem. Entre os riscos externos que podem ter impacto no planeamento das companhias, destacam-se: o ambiente económico e social, taxas de câmbio, catástrofes, epidemias, situações políticas, parcerias e alianças, competitividade, atração do mercado, novos produtos e tecnologias.

Os fatores acima apresentados contribuem para a incerteza na medida em que na sua grande maioria terão um impacto direto sobre a procura, como é o caso de eventos de terrorismo ou crises financeiras. A procura de passageiros poderá também ser afetada quando se verificam aumentos elevados no preço dos combustíveis, levando a companhia a ajustar os preços dos bilhetes. No que diz respeito a considerações ambientais é necessário ter em conta que a regulamentação de emissões e ruído levará as companhias a terem de fazer reestruturações na sua frota, levando a investimentos e consequentes impactos financeiros.

Outro fator que o planeamento das redes aéreas tem de ter em conta relaciona-se com as alianças ou parcerias entre companhias aéreas. Foi necessário no setor aéreo fazer alianças entre as companhias por forma a estas poderem ter acesso a uma rede de voos mais vasta, cobrindo diversas áreas geográficas e servindo um maior número de cidades. As alianças podem assumir diversas formas, desde acordos para uma rota específica até acordos mais extensos de fusão de várias rotas (Pels, 2001). Os acordos de *code-sharing* são uma das formas de alianças entre companhias aéreas, em que as companhias vendem lugares em voos como se fossem seus, mas os voos são realizados por uma companhia parceira. Outros tipos de alianças passam ainda por campanhas de *marketing*, ajustes de preços de bilhetes, coordenação de horários, frequências de voos e ainda partilhas de espaços nos aeroportos (IATA, 2013).

Os principais objetivos da formação de alianças serão o aumento dos lucros, aumento da procura, intensificação da frequência de voos e expansão das redes de voos a novos mercados, aumentado a qualidade de serviço para os passageiros e procurando diminuir tarifas e custos para as companhias aéreas parceiras (Oum e Park, 1997; Park, 1997; Park e Zhang, 2000; Park et al., 2001)

As alianças e acordos de *code-sharing* são importantes aquando do planeamento das redes aéreas, uma vez que afetam a eficácia das operações e qualidade dos serviços prestados aos passageiros, na medida em que levam a uma maior oferta de voos e à coordenação de rotas. Dependendo ainda do tipo de aliança, as companhias aéreas poderão ajustar a sua rede, havendo conexões de redes entre as companhias, ou apenas fazer acordos em rotas já existentes e operadas por ambas (Wen e Hsu, 2006).

3 O CASO DA REDE EUROPEIA DA TAP

A TAP Air Portugal é uma companhia aérea portuguesa, com a sua base situada em Lisboa e uma mini base no Porto.

A rede da companhia tem ligação a 85 cidades em 34 países e conta com uma frota com 80 aeronaves, 63 Airbus, 9 Embraer e 8 ATR.

A companhia foi fundada em 14 de março de 1945 e contava apenas com duas aeronaves Dakota DC-3 com capacidade de transportar 21 passageiros. Nos anos seguintes foi crescendo, apresentando no final da década de 70 uma frota com 32 aeronaves e uma rede de mais de 40 destinos em 4 continentes. Nesta altura a TAP já tinha transportado mais de 1,5 milhões de passageiros. Durante a década de 90 a companhia fez uma renovação da sua frota, adquirindo várias aeronaves Airbus, as quais constituem maioritariamente a sua frota atual. No final da década, a TAP já havia transportado mais de 5 milhões de passageiros. No início do século 21, a companhia atinge lucros elevados, contando nessa altura com uma frota de 40 aeronaves. No ano de 2005, e quando assinala 60 anos de existência, a TAP tornou-se membro da maior aliança de companhias aéreas mundial, a Star Alliance. A companhia tem ainda um programa de fidelização de passageiros frequentes, TAP Victoria, que permite a utilização das milhas acumuladas em viagens, bem como outros serviços oferecidos pela companhia e em diversos parceiros com que a companhia tem acordos.

A companhia portuguesa lidera o setor do transporte aéreo no que diz respeito à oferta de voos para vários destinos na Europa e no Brasil, e alguns destinos no continente africano, a partir da sua base situada em Lisboa, tirando partido da sua posição geográfica.

No que diz respeito ao presente trabalho foram utilizados dados correspondentes ao ano de 2016, sendo importante salientar alguns números. A companhia transportou 11,72 milhões de passageiros, vendo um crescimento em 3,5% face ao ano de 2015, com a taxa de ocupação de aeronaves situada nos 78,6%. Houve ainda crescimentos nas ligações, nomeadamente um aumento de 80% na ponte aérea Lisboa Porto, um aumento de 65% para as ligações aos EUA, sendo este o mercado com maior crescimento, devido à abertura de novas rotas para, Boston e Nova Iorque (JFK) e aumento das frequências de voos para as rotas já existentes (Newark e Miami). Já os mercados domésticos e europeus apresentaram crescimentos de 4% traduzindo-

se em 8,99 milhões de passageiros. Para o Brasil foram registados aumentos de 5%, enquanto que para África o crescimento do mercado se situou nos 36%.

3.1 Destinos

Atualmente a TAP voa para 54 destinos na Europa, incluindo 7 domésticos, em Portugal continental e ilhas. Destes destinos, 11 são em Espanha, mantendo assim ligação a vários pontos deste país, sendo a maior parte dos mesmos efetuados com exclusividade pela companhia. A rede da companhia também tem uma forte ligação a cidades francesas e ainda a cidades onde há um grande número de emigrantes portugueses, como é o caso de Genebra e do Luxemburgo.

O resto da rede foca-se sobretudo em capitais europeias e aeroportos de grandes dimensões, nomeadamente a aeroportos que pertencem aos 50 mais movimentados do mundo, como Londres Heathrow e Gatwick, Amesterdão Schiphol, Frankfurt, Madrid e Barcelona, Munique e Roma Fiumicino e que servem como pontos de ligação a outros destinos internacionais.

Na Figura 3.1 é apresentado um mapa que mostra todas as ligações europeias da companhia a partir da sua base situada em Lisboa.

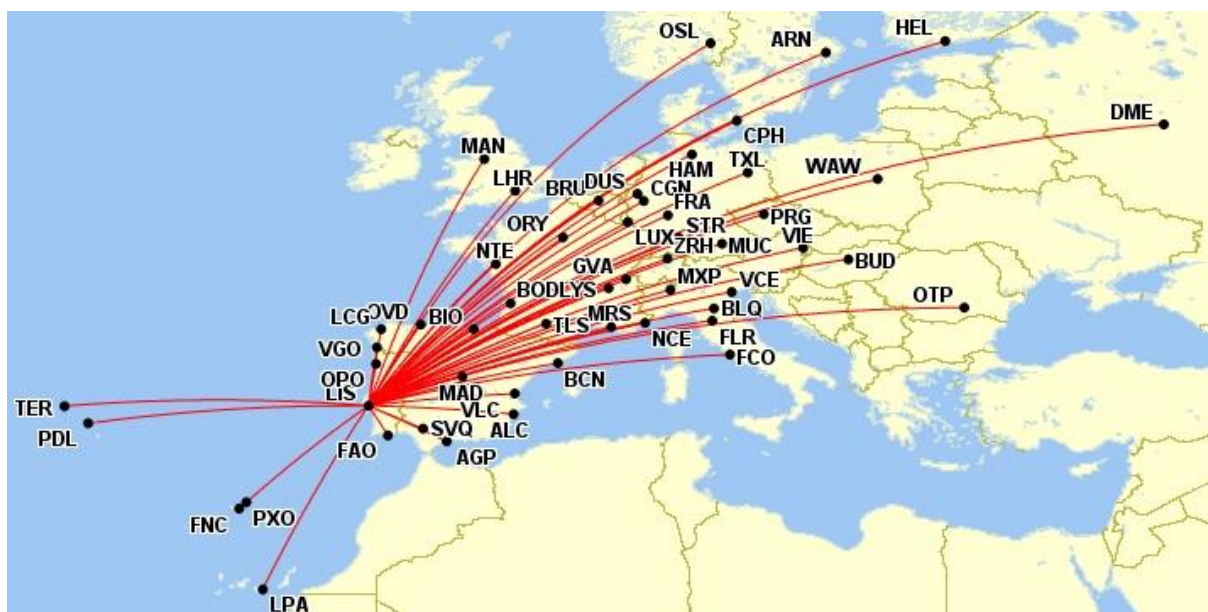


Figura 3.1 - Mapa de destinos europeus da rede TAP

3.2 Frequências

É necessário que a companhia ajuste a sua frequência de voos à procura. A companhia efetua mais de 2.500 voos semanais, sendo cerca de 974 destes para destinos domésticos e europeus a partir do aeroporto do Lisboa.

Contudo, estes não são números fixos ao longo do ano, uma vez que a procura não é constante e é necessário efetuar ajustes em função das épocas do ano.

Na Tabela 3.1 pode observar-se a frequência semanal de voos para todos os destinos europeus da companhia. Verifica-se assim, a partir dos números apresentados, que há um número elevado de voos semanais para destinos domésticos, nomeadamente a rota LIS-OPO. A frequência nesta rota foi aumentada significativamente na medida em que serve principalmente de ligação a outros destinos internacionais, que são servidos apenas a partir da base de Lisboa.

Mais se pode salientar que as frequências nas rotas ibéricas são elevadas, nomeadamente a ligação às principais duas cidades espanholas, Madrid e Barcelona, mas também a outros destinos importantes no resto do país, nos quais a companhia não enfrenta concorrência.

Pode ainda verificar-se que a companhia tem bastantes ligações a França, nomeadamente à cidade de Paris, com cerca de oito voos diários, mas também a outros pontos distintos deste país, sendo importante realçar que é um dos países com uma taxa elevada de emigração portuguesa, em conjunto com a Suíça e Luxemburgo. Dos restantes destinos destaca-se a importância da ligação à Alemanha, sendo Frankfurt uma das principais bases de ligação a rotas intercontinentais, e a ainda no Reino Unido, nomeadamente Londres, cidade para onde a TAP efetua voos para três aeroportos distintos.

São, em geral, ainda oferecidos pelo menos sete voos semanais para outros destinos europeus, que garantem a ligação de Portugal às principais capitais europeias.

Tabela 3.1- Número de voos semanais efetuados pela TAP a partir de Lisboa para a rede europeia

País	Aeropostos	Nº voos semanais	Total	País	Aeropostos	Nº voos semanais	Total
Portugal	FAO	28	226	Alemanha	TXL	11	101
	FNC	56			CGN	13	
	PDL	14			DUS	7	
	OPO	119			STR	14	
	PXO	2			FRA	26	
	TER	7			HAM	11	
Espanha	MAD	42	190	Reino Unido	MUC	19	79
	BCN	44			LHR	44	
	ALC	7			LGW	11	
	OVD	7			LCY	12	
	BIO	14			MAN	12	
	LCG	7		Suíça	GVA	20	40
	LPA	7		ZRH	20		
	AGP	14		Bélgica	BRU	27	27
	SVQ	21		Holanda	AMS	21	21
	VLC	20		Áustria	VIE	14	14
VGO	7	Dinamarca	CPH	12	12		
França	BOD	7	135	Suécia	ARN	11	11
	LYS	20		República Checa	PRG	10	10
	MRS	12		Luxemburgo	LUX	7	7
	NTE	7		Roménia	OTP	7	7
	NCE	14		Hungria	BUD	7	7
	ORY	56		Finlândia	HEL	7	7
Itália	TLS	19	80	Rússia	DME	7	7
	BLQ	7		Noruega	OSL	7	7
	MXP	27		Polónia	WAW	7	7
	FCO	35					
	VCE	11					

3.3 Frota Usada

A frota da TAP, como já referido, conta com 80 aeronaves, sendo na sua maioria da fabricante Airbus. Estas aeronaves destinam-se maioritariamente voos de médio e longo curso. A TAP Express conta ainda com aeronaves Embraer 190 e Embraer 195 e ATR 72-600 que operam voos de curta distância ou servem mercados de menor importância.

Atualmente a TAP Air Portugal, conta apenas com aeronaves da Airbus, para os seus voos de médio-longo curso, sendo que no passado a companhia já operou aeronaves da companhia americana Boeing.

Na história da frota da companhia, as primeiras aeronaves a serem operadas pertenceram à companhia Douglas, que mais tarde se viria a fundir com a Boeing. Mais tarde, a companhia passou a operar aeronaves desta fabricante, tendo integrado ao todo 30 aeronaves desde o ano 1965 a 2001. A partir desta data a TAP passou a usar apenas aeronaves da Airbus.

Atualmente a média de idades da frota da TAP situa-se nos 15,8 anos, sendo as aeronaves mais antigas as A340 e as que têm uma média de idades mais baixa as do modelo A320, a aeronave mais nova da frota também pertence a este último modelo. No Quadro 3.2 são apresentados os modelos e quantidade de aeronaves pertencentes à frota da companhia, bem como as idades das mesmas. É de referir a que maior parte destas aeronaves já pertenceram a outras companhias aéreas, não tendo assim sido operadas exclusivamente pela TAP.

Tabela 3.2 - Idade das aeronaves da frota da TAP Air Portugal

TAP Air Portugal				
Modelo	Ativos	Média de idade (anos)	Aeronave mais recente (anos)	Aeronave mais antiga (anos)
A319	21	18,7	15,7	21,3
A320	20	13,7	6,7	19
A321	4	16	13,5	17,5
A330	18	13,9	8,8	20,5
A340	4	23,1	22,9	23,3

A companhia tem em vista a renovação da sua frota, nomeadamente para modelos de longo curso, por forma a servir mercados intercontinentais, tendo como objetivo a intensificação da oferta para o Brasil. Foram encomendadas 14 novas aeronaves A330-900neo, que irão substituir, as atuais A330-200 e A330-300 e também as A340.

4 MODELOS DE PLANEAMENTO DE REDES

4.1 Modelos Existentes

Após a desregulamentação do mercado aéreo, são bastantes os estudos acerca de modelos de localização de *hubs*. No entanto poucos são os que apresentam modelos para planeamento de redes aéreas do tipo *point-to-point*. Assim os modelos estudados focam-se sobretudo na previsão de tráfego ou frequências de voos.

Em Lederer e Nambimadom (1998), são apresentadas as características como distância, procura e número de cidades na rede, que serão ótimas à escolha de quatro tipos diferentes de rede, *point-to-point*, *hub-and-spoke*, *tour* e *sub-tour*, no artigo são também estudadas as frequências dos voos.

Hsu e Wen (2000), desenvolveram modelos para previsão de tráfego de passageiros e para determinar a forma de uma rede de uma companhia aérea e a sua correspondente frequência de voos, aplicando a *grey theory* e programação multiobjectivo.

Por forma a avaliar a confiança da estruturação de uma rede de uma companhia aérea em resposta à flutuação da procura, Hsu e Wen (2002), desenvolveram modelos para analisar a probabilidade de ocorrências normais e anormais, durações das mesmas e estimativas para pares individuais. Foram verificados baixos valores de confiabilidade para alguns pares Origem-Destino (OD) aquando de grandes flutuações de tráfego num dado mês, o que demonstra que as frequências inicialmente propostas foram dadas como não confiáveis. Os resultados deste estudo demonstram que os custos de fazer ajustamentos nas frequências dos voos para certos pares OD em que se verificou um baixo nível de confiabilidade são menores do que as perdas de lucros expectáveis se os mesmos não se efetuassem.

Em Hsu e Wen (2003) foi desenvolvido um modelo para determinação das frequências ótimas de voos e tarifas tendo em conta interações oferta-procura. O modelo é constituído por dois submodelos, o primeiro reflete a escolha de um voo de uma companhia por parte do passageiro (procura) e o segundo retrata um modelo de programação de frequência de voos (oferta). Os resultados mostram que a programação de um modelo de frequências usando uma interação

oferta-procura é prático e serve como ferramenta de apoio à decisão que determina frequências de voos e tarifas básicas, estimando a procura de passageiros e respetivos lucros.

Devido à variação da procura ter um carácter sazonal e os modelos existentes serem na sua maioria determinísticos, Yang (2010) apresentou um modelo estocástico de forma a fazer face à incerteza da procura de passageiros. O modelo é apresentado em duas fases, em que a primeira corresponde ao problema de localização de *hubs*, sendo esta parte do modelo determinística. A segunda fase corresponde à determinação das rotas e fluxos de tráfego utilizando vários cenários de incerteza. Foi mostrado que o modelo estocástico apresentou bons resultados no que diz respeito à variação da procura, fornecendo melhores soluções do que as apresentadas por modelos tradicionais.

Kölker e Lütjens (2015), apresentaram um modelo de planeamento de redes aéreas e programação de voos diminuindo os efeitos da rotação de aeronaves e procura de passageiros aplicando algoritmos genéticos. A metodologia aplicada permitiu a introdução de questões como a preferência dos passageiros ou características da frota.

4.2 Modelo Proposto

O modelo apresentado para estudo de caso, serve para determinar a possibilidade de abertura de novas rotas, sendo que as rotas já existentes são parte integrante da rede da companhia. O objetivo será o de maximizar os lucros, respeitando as restrições impostas no modelo.

De seguida, são apresentados os conjuntos, parâmetros e variáveis de decisão necessários à formulação do modelo, surgindo depois a função objetivo e restrições.

Conjuntos

L – Conjunto dos aeroportos base $\{1 \dots L\}$

N – Conjunto dos aeroportos servidos a partir dos aeroportos base $\{1, 2 \dots N\}$

M – Conjunto de tipos aeronaves pertencentes à companhia $\{1, 2 \dots M\}$

Parâmetros

Q_{jk} - Procura diária de viagens entre j e um aeroporto k

D_{jk} – Distância entre o aeroporto j e um aeroporto k

S_m – Número de lugares de uma aeronave do tipo m

R_m – Máximo alcance atingido por uma aeronave do tipo m (km)

V_m – Velocidade máxima atingida por uma aeronave tipo m (km/h)

T_m – Tempo mínimo de *turnaround* utilizado por uma aeronave do tipo m (min)

FS_m – Número de aeronaves do tipo m pertencentes à companhia

P_{jk} – Preço de viajar entre o aeroporto j e um aeroporto k (€)

U – Número de destinos considerados, menor que 24 se forem considerados os destinos já existentes, maior que 23 quando considerados os novos destinos

CO_{jkm} – Custo de operação de voar do aeroporto j para um aeroporto k , com uma aeronave do tipo m (€)

Variáveis de decisão

X_{jkm} – Número de voos diários com origem no aeroporto j e destino a um aeroporto k , feitos com uma aeronave do tipo m

Z_m – Número de aeronaves do tipo m

Y_{jk} – A procura é totalmente satisfeita se $Y_{jk} = Q_{jk}$, podendo não ser se $Y_{jk} \leq Q_{jk}$

O modelo matemático pode ser escrito da seguinte forma:

$$\text{Max Lucro} = \sum_{j \in L} \sum_{k \in N} 2 \times P_{jk} Y_{jk} - \sum_{j \in L} \sum_{k \in N} \sum_{m \in M} 2 \times 2 \times CO_{jkm} X_{jkm} \quad (1)$$

s.a

$$\sum_{m \in M} S_m X_{jkm} \geq Y_{jk}, \forall j \in L, k \in N \quad (2)$$

$$\sum_{j \in L} \sum_{k \in N} \left(2 \times \frac{D_{jk}}{V_m} + \frac{T_m}{60} \right) X_{jkm} \leq 12 \times Z_m, \forall m \in M \quad (3)$$

$$X_{jkm} \leq A_m, \forall j \in L, k \in N, m \in M \quad (4)$$

$$A_m = \begin{cases} 10000 & \leftarrow D_{jk} \leq R_m \\ 0 & \leftarrow D_{jk} > R_m \end{cases} \quad (5)$$

$$Z_m \leq FS_m, \forall m \in M \quad (6)$$

$$2 \times P_{jk} Y_{jk} \geq \sum_{m \in M} 2 \times 2 \times CO_{jkm} X_{jkm}, \forall j \in L, k \in N | k > U \quad (7)$$

$$Y_{jk} = Q_{jk}, \forall j \in L, k \in N | k < U \quad (8)$$

$$Y_{jk} \leq Q_{jk}, \forall j \in L, k \in N | k > U \quad (9)$$

A função objetivo (1), procura maximizar o lucro para a companhia aérea subtraindo ao somatório da multiplicação, do preço dos bilhetes pela variável de decisão Y_{jk} , que é a procura para uma dada situação, o somatório da multiplicação dos custos operacionais pelo número de voos diários. A multiplicação do preço por dois, resulta de se considerarem viagens de ida e volta. Quanto aos custos, a multiplicação por quatro (2×2) resulta do mesmo motivo e de se considerar que, como hoje acontece, os custos fixos da companhia são aproximadamente iguais aos custos variáveis (com a forma como as operações são realizadas).

As restrições (2), são restrições de capacidade, garantindo que o número de lugares de uma aeronave do tipo m , multiplicado pelo número de voos diários com origem em j e destino em k , feito com uma aeronave do tipo m , tem de ser maior ou igual à procura.

A restrição (3) é uma restrição de tempo, especificando que, em média, cada aeronave só poderá estar fora da base (em voo ou operações de *turnaround*, como entrada e saída de passageiros, limpeza e manutenção) um máximo de 12 horas por dia. Este valor foi estabelecido tendo por referência a informação existente a este respeito para uma amostra grande de companhias aéreas. No caso da TAP, atingir este tempo médio de voo por aeronave representa um desafio, porque atualmente este tempo é da ordem das 10 horas.

As restrições (4) e (5), dizem respeito à autonomia de uma aeronave, se em (5), a distância voada pela aeronave da origem j para o destino k , for menor ou igual à autonomia de uma aeronave, A_m assumirá um valor grande, o contrário acontece se a distância da origem j para o destino k , exceder a autonomia de uma aeronave, é devolvido o valor zero, não podendo ser atribuída a aeronave à rota. Da equação (4), a atribuição de uma aeronave a uma rota, tem de feita de modo o número de quilómetros percorridos não ultrapasse a autonomia da aeronave.

A restrição (6), impõe que o número de aeronaves utilizadas tem de ser menor ou igual ao número de aeronaves disponíveis, estabelecendo a utilização de uma frota fixa.

A restrição (7), é dada de forma a que todas as novas rotas, $U = 23$, a ser operadas pela companhia têm de ser lucrativas, se isto não acontecer, não são atribuídos voos às mesmas.

As restrições (8) e (9), servem para assegurar que a procura é toda satisfeita para as rotas já existentes, $U = 24$, e que para as novas rotas, $U = 23$, esta procura poderá ou não ser totalmente satisfeita.

A quantidade de destinos considerados são 36, correspondendo os primeiros 24, aos destinos já existentes e os restantes 13 aos novos destinos que poderão ser incluídos na rede.

5 APLICAÇÃO DO MODELO AO CASO DA REDE EUROPEIA DA TAP

5.1 Dados

Nas subsecções que se seguem serão apresentados os dados utilizados para o cálculo do modelo matemático, como a frota utilizada e preços dos bilhetes. São ainda mostradas expressões utilizadas para o cálculo de outros dados que fazem parte do modelo, como os custos operacionais, as distâncias entre aeroportos e um estudo de previsão da procura.

Para a modelação e otimização do modelo foi utilizado o software FICO Xpress, que utiliza o método de *Branch-and-Bound* para chegar a uma solução ótima.

5.1.1 Frota

Para o modelo matemático apresentado a frota considerada foi fixa, tendo por base a frota da TAP para curtas e médias distâncias.

Na Tabela 5.1 apresentada, podem ver-se as características das aeronaves necessárias ao cálculo do modelo, estes dados foram retirados diretamente do website da TAP (TAP, 2018). Da frota da companhia apresentada anteriormente, foram descartados os modelos A330 e A340, para este caso de estudo, pois apenas serão considerados destinos de curto ou médio alcance. As aeronaves ATR 72-600 não fazem igualmente parte da frota utilizada.

Tabela 5.1 - Características das aeronaves inseridas no modelo

Modelo	Quantidade	Lugares	Autonomia (km)	Velocidade (km/h)	Turnaround time (min)
A321	4	200	4600	900	45
A320	20	162	5500	900	40
A319	21	132	5700	900	35
ERJ 190	9	106	4445	890	25

5.1.2 Custos Operacionais

Os custos operacionais são um fator importante quando se constrói a rede de uma companhia aérea, uma vez que estão diretamente ligados a um dos principais objetivos das companhias, que será o de obter o maior lucro possível.

Para este trabalho, por forma a estimar os custos operacionais para cada rota da rede, foi utilizada a fórmula proposta em Swan e Adler (2006). Neste artigo os autores apresentam os custos operacionais de uma forma categorizada e apresentam ainda funções de apoio ao cálculo de custos de operação generalizados para aeronaves de transporte de passageiros.

São apresentadas assim duas equações, uma aplicada a viagens de média distância, a que servirá de base para o cálculo dos custos operacionais para o modelo apresentado, mas também uma função para voos de longa distância, a qual não adequa ao presente trabalho. Pode ainda concluir-se que, como acima referido os custos foram divididos em diferentes categorias. Estas categorias são: seguros, taxas de controlo de tráfego aéreo, despesas com tripulação, despesas com pilotos, custos de aeroporto, combustíveis, manutenção e custos de propriedade. A equação (10), retirada do artigo acima referido, servirá de base aos custos operacionais do modelo.

$$C = (D + 722) \times (S + 104) \times \$0.019 \quad (10)$$

Como o artigo data de 2006, foi feita uma atualização para o ano de 2016 de forma a corresponder a valores atuais, sendo também feita uma conversão da moeda de dólar para euro.

Foi ainda utilizado um fator de redução de custos, tendo em conta que nos últimos dez anos a indústria aérea sofreu uma modificação bastante acentuada nas suas várias áreas, nomeadamente no processo de venda de bilhetes, passando a realizar-se tudo informaticamente, permitiu às companhias aéreas reduzir custos de vendas. A equação final usada na formulação do modelo e adaptada de (10), é a equação (11), a qual já é apresentada utilizando os parâmetros do modelo matemático utilizado.

$$CO(j, k, m) = (D(j, k) + 722) \times (S(m) + 104) \times €0.018 \quad (11)$$

5.1.3 Preços

Para obter os dados relativos aos preços dos bilhetes para cada rota, efetuada a partir do aeroporto de Lisboa, consultou-se a plataforma de vendas disponível na página da internet da TAP (FlyTAP, 2018). Estes preços apresentados na Tabela 5.2, representam a tarifa mais baixa que poderá ser encontrada para cada um dos destinos.

Como é possível observar, os destinos com as tarifas mais reduzidas, correspondem a destinos com muita procura e também com uma maior concorrência por parte de outras companhias, nomeadamente companhias *low-cost*. Por outro lado, os destinos que apresentam as tarifas mínimas mais elevadas são destinos com um procura e conseqüente oferta mais reduzida, como é o caso de Helsínquia e Varsóvia, destinos estes que como acima já foi possível observar apenas apresentam geralmente sete voos semanais.

Na aplicação do modelo, por forma a fazer uma melhor aproximação à realidade, estes preços foram todos multiplicados pelo fator 1,5, uma vez que as tarifas mais baixas apenas são praticadas em alguns dias. As companhias aéreas utilizam tarifas dinâmicas, por esta razão, os preços dos bilhetes para um determinado voo podem ser bastante diferentes para cada passageiro, dependendo de fatores como a data de compra do bilhete, preenchimento do voo, variações nos preços dos combustíveis entre outros.

Tabela 5.2 - Preços dos bilhetes dos mercados existentes

Cidade	Preço (€)	Cidade	Preço (€)
Madrid	34	Oslo	68
Paris	29	Estocolmo	76
Roma	29	Helsínquia	91
Londres	40	Varsóvia	91
Zurique	48	Bucareste	66
Berlim	72	Cidade do Luxemburgo	49
Viena	76	Frankfurt	27
Praga	82	Munique	62
Bruxelas	32	Barcelona	31
Amsterdão	45	Genebra	39
Copenhaga	64	Milão	33
Budapeste	87		

Foi ainda necessário fazer um levantamento de preços no que diz respeito aos possíveis novos mercados a servir. Para este efeito foi feita uma pesquisa com base nas tarifas mais baixas de outras companhias aéreas considerando quando possível, preços de voos *non-stop*. Estes valores podem ser observados na Tabela 5.3. Deste conjunto de novos destinos destacam-se Dublin,

Edimburgo, Atenas e Istambul como os únicos em que há ligação *non-stop* a partir do aeroporto de Lisboa. São também estes os destinos que apresentam na sua maioria tarifas mais baixas, e caso a companhia considere rentável abrir estes novos mercados terá de ter em conta a competitividade com as companhias que atualmente já operam nestas rotas.

Tabela 5.3 – Preços dos bilhetes dos novos mercados

Cidade	Preço (€)
Dublin	40
Belfast	116
Edimburgo	56
Bratislava	118
Zagreb	69
Ljubljana	159
Atenas	61
Vilnius	122
Riga	137
Tallinn	137
Sófia	141
Istambul	82
Podgorica	138

5.1.4 Distâncias

As distâncias entre os aeroportos foram calculadas recorrendo à fórmula de Haversine, representada através da equação (12), que determina a distância mais curta em círculo entre dois pontos de uma esfera, dadas as suas coordenadas geográficas. Os dados relativos às coordenadas geográficas e distâncias, entre o aeroporto de origem (Lisboa) e todos os restantes destinos, encontram-se no Anexo A.

$$D_{jk} = \text{acos}(\sin\varphi_j \cdot \sin\varphi_k + \cos\varphi_j \cdot \cos\varphi_k \cdot \cos(\vartheta_k - \vartheta_j)) \cdot RT \quad (12)$$

Em que:

φ_j, φ_k – latitude de j e k [rad]

ϑ_j, ϑ_k – longitude de j e k [rad]

RT – Raio da Terra ≈ 6.371 km

5.1.5 Procura

De forma a obter dados de fluxos de tráfego entre o aeroporto de Lisboa e todos os destinos da rede foi necessário recorrer à base de dados da *Eurostat* (Eurostat, 2017). Para este efeito foram retirados dados relativos ao ano de 2016 para cada par origem destino, sendo que a origem é sempre fixa, ou seja, o índice j corresponderá sempre a Lisboa e k a todos os outros destinos. Foram retirados dois tipos de dados, uns dizem respeito ao número de passageiros para cada par origem destino (Q_{jk}) e os restantes são o número de voos efetuados em cada aeroporto para destinos europeus (F_j e F_k).

Dos dados obtidos e no que diz respeito à procura, de forma a poder corresponder à realidade, foi necessário realizar uma distribuição de mercado por forma a obter a quota de mercado de que a TAP é detentora para os mercados utilizados no modelo. Na Tabela 5.4 são apresentados os dados relativos ao volume de passageiros para algumas rotas e as respetivas percentagens da quota de mercado da companhia para cada uma dessas rotas. Estas percentagens foram calculadas com base no total de número de voos semanais efetuados para cada par OD, distribuídos por todas as companhias que operam cada uma das rotas.

Na Figura 5.1 é mostrado o mapa com os destinos pertencentes à rede da companhia e os quais serão utilizados no modelo.

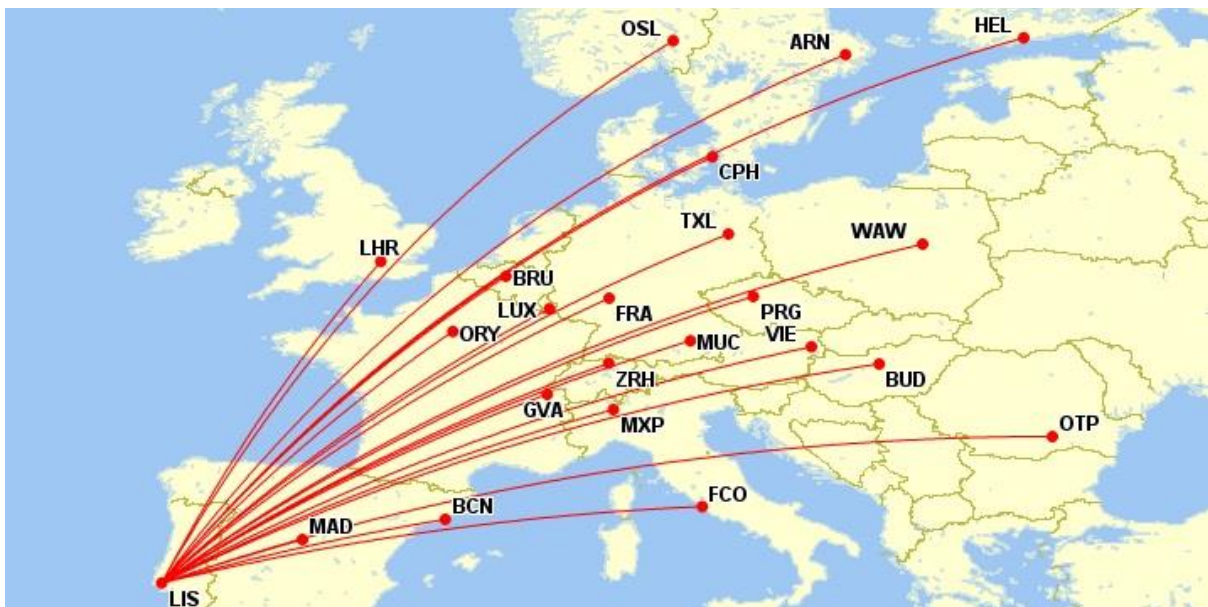


Figura 5.1 – Mapa de rotas pertencentes atualmente à companhia

Tabela 5.4 - Procura diária para cada par OD

Cidade	Aeroporto	Qjk total (pax/ano)	Qjk total (pax/dia)	Market Share TAP (%)	Qjk inicial (pax/dia)
Madrid	MAD	1 299 412	3 560	36	1 289
Paris	ORY	1 247 078	3 417	60	2 058
Roma	FCO	369 725	1 013	100	1 013
Londres	LHR/LGW	1 119 938	3 069	61	1 876
Zurique	ZRH	430 788	1 180	49	576
Viena	VIE	167 617	459	100	459
Praga	PRG	83 624	229	100	229
Bruxelas	BRU	700 023	1 918	44	849
Amsterdão	AMS	775 700	2 125	36	756
Copenhaga	CPH	177 644	487	75	365
Oslo	OSL	110 594	303	100	303
Estocolmo	ARN	89 564	245	69	169
Varsóvia	WAW	104 003	285	78	222
Cidade do Luxemburgo	LUX	169 870	465	30	142
Frankfurt	FRA	616 292	1 688	43	720
Munique	MUC	479 152	1 313	45	594
Barcelona	BCN	695 608	1 906	76	1 446
Genebra	GVA	565 506	1 549	45	704
Milão	MXP	390 710	1 070	79	850

De forma a calibrar os valores para a procura, através dos parâmetros de calibração, bem como obter valores com esta calibração para a introdução de novos mercados no modelo, recorreu-se a um modelo gravitacional, em que a procura é dada pela expressão (13). Posteriormente esta expressão, com os devidos parâmetros de calibração já calculados, irá ser aplicada para determinar também, valores estimados para a procura dos novos mercados.

$$Q_{jk} = \alpha \frac{(F_j F_k)^\gamma}{C_{jk}^\beta} \quad (13)$$

Onde:

Q_{jk} – Fluxo de tráfego diário de passageiros entre o aeroporto j e aeroporto k .

F_j – Número de voos diários que partem do aeroporto j para destinos europeus

F_k – Número de voos diários que partem do aeroporto k para destinos europeus

C_{jk} – Custo total da viagem para o passageiro, em € dado pela expressão:

$$C_{jk} = (2,5 + t_{jk}) \times 15 + P_{jk} \quad (14)$$

t_{jk} – Tempo efetivo de voo de j para k dado em horas

P_{jk} – Preço do bilhete entre o aeroporto j e o aeroporto k em €

α, β, γ – Parâmetros de calibração

Para o modelo gravitacional, foi utilizado o indicador voos (F_j e F_k) em vez do indicador população por forma a modelar a procura de uma forma mais realista. Isto acontece para destinos como por exemplo Frankfurt, cujo aeroporto tem uma procura bastante elevada, pertencendo aos 25 mais movimentados do mundo, o que não corresponde em proporção à sua população.

A função de atrito dada por C_{jk} , representa um custo total do que é o valor da viagem para o passageiro, sendo que 2,5 é uma constante dada em horas e que representa o tempo médio de espera no aeroporto, t_{jk} , o tempo efetivo do voo, 15 é o fator multiplicativo dado em euros por hora e P_{jk} o preço dos bilhetes entre o aeroporto j e o aeroporto k .

De modo a calibrar o modelo fez-se a linearização do mesmo, dado pela seguinte expressão:

$$\ln(Q_{jk}) = \ln \alpha + \gamma \ln(F_j F_k) - \beta \ln(C_{jk}) \quad (15)$$

Através de uma regressão linear foi possível obter os parâmetros de calibração α, β, γ . Os valores destes parâmetros foram aplicados ao modelo gravitacional apresentado em (13), para os destinos existentes. Os resultados modelados e observados podem ser observados na Tabela 5.5. Uma vez que j , aeroporto de origem será apenas Lisboa, F_j é fixo sendo este valor de 311 voos por dia.

Tabela 5.5 – Número de voos diários e valores da procura de passageiros observado e modelado após regressão linear para destinos existentes

Cidade	Aeroporto	Fk (voos/dia)	Qjk observado (pax/dia)	Qjk modelado (pax/dia)
Madrid	MAD	446	1289	1451
Paris	ORY	841	2058	1713
Roma	FCO	362	1013	764
Londres	LHR/LGW	1107	1876	1531
Zurique	ZRH	474	576	688
Viena	VIE	402	459	335
Praga	PRG	258	229	224
Bruxelas	BRU	408	849	851
Amsterdão	AMS	902	756	1114
Copenhaga	CPH	457	365	423
Oslo	OSL	282	303	253
Estocolmo	ARN	326	169	238
Varsóvia	WAW	240	222	169
Cidade do Luxemburgo	LUX	111	142	226
Frankfurt	FRA	608	720	1127
Munique	MUC	567	594	588
Barcelona	BCN	460	1446	1254
Genebra	GVA	319	704	659
Milão	MXP	238	850	564

Na Figura 5.2 é apresentado um gráfico de dispersão entre o fluxo de tráfego modelado e o fluxo de tráfego observado, em que o seu fator de correlação (R^2) é de 0,883.

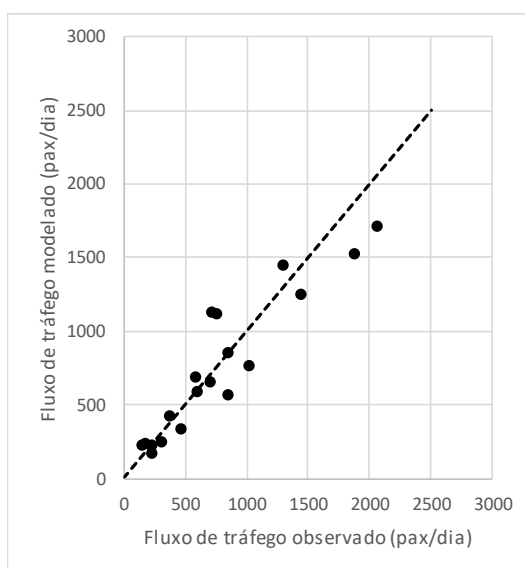


Figura 5.2 – Relação entre o fluxo de tráfego observado e modelado

Uma vez que não foi possível recolher dados respeitantes à procura de passageiros para alguns dos destinos que já fazem parte da rede, (Berlim, Budapeste, Helsínquia e Bucareste), os valores da procura foram estimados diretamente com a aplicação do modelo gravitacional e parâmetros de calibração determinados anteriormente. Os resultados para a procura modelada, para estes destinos, são apresentados na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 – Valores da procura modelados para destinos existentes

Cidade	Aeroporto	Fk (voos/dia)	Qjk modelado (pax/dia)
Berlim	TXL	232	294
Budapeste	BUD	185	185
Helsínquia	HEL	250	171
Bucareste	OTP	187	240

Por fim foram calculados os valores para a procura de passageiros para as novas rotas. O cálculo dos mesmos foi feito de forma análoga ao acima explicado e estão representados na Tabela 5.7.

Tabela 5.7 – Valores da procura modelados para novos destinos

Cidade	Aeroporto	Fk (voos/dia)	Qjk modelado (pax/dia)
Dublin	DUB	481	786
Belfast	BFS	25	26
Edimburgo	EDI	124	196
Bratislava	BTS	31	28
Zagreb	ZAG	53	79
Ljubljana	LJU	33	20
Atenas	ATH	181	194
Vilnius	VNO	75	44
Riga	RIX	123	55
Talin	TLL	68	35
Sófia	SOF	92	47
Istambul	IST	353	215
Podgorica	TGD	13	12

Na Figura 5.3 é apresentado um mapa com os destinos existentes pertencentes à rede da companhia, representados a cor vermelha, e a cor verde são os novos destinos propostos a incluir na rede da companhia.

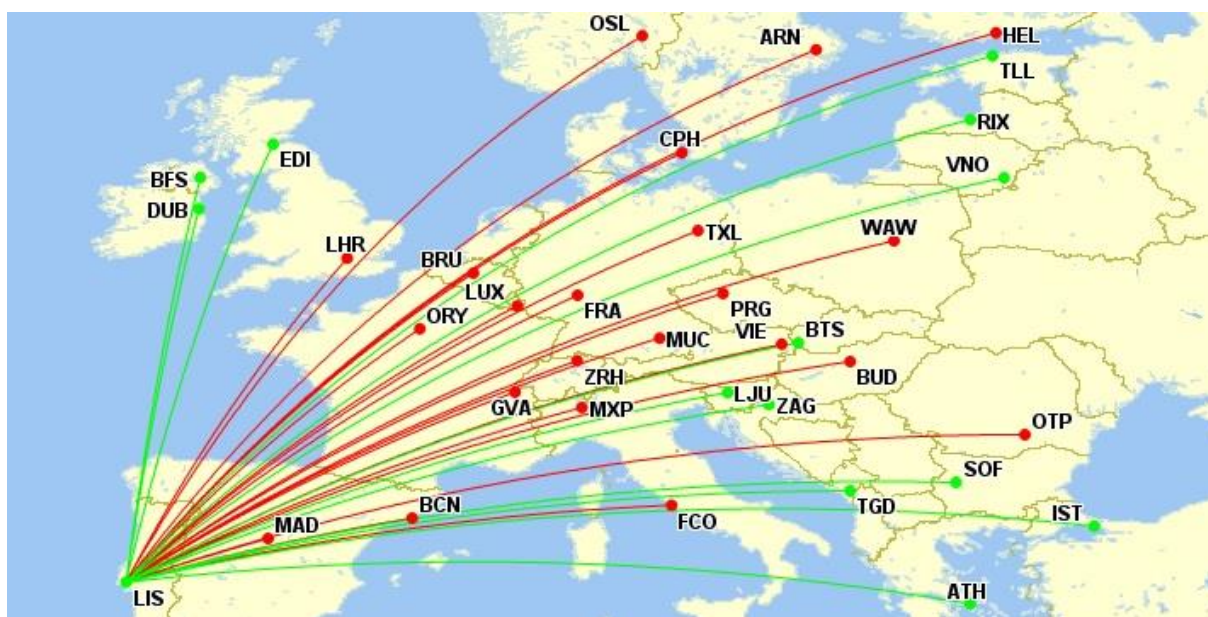


Figura 5.3 – Mapa de novas rotas propostas para a rede da companhia

5.2 Resultados do Modelo

Nesta subsecção serão apresentados os resultados da aplicação do modelo matemático. Vai ser feita uma exploração dos mesmos tendo em conta algumas variações dos dados apresentados anteriormente. Primeiro, são mostradas as soluções da situação atual da rede com as rotas existentes. De seguida, serão acrescentadas as possíveis novas rotas. E por último são feitas algumas variações de dados, para a procura, preços dos bilhetes e frota, por forma a poder perceber em como estas variâncias diferem nos resultados finais do modelo.

5.2.1 Situação Atual

Para este caso genérico, a rede de aeroportos a servir pela companhia apenas consiste em capitais, que já são atualmente servidas bem como outros destinos mais importantes para a rede. Assim, foi feita uma otimização para um total de 23 destinos e 54 aeronaves distribuídas por 4 modelos com diferentes capacidades de ocupação e autonomia.

Os preços foram ainda aumentados em 50% dos valores já apresentados em cima, os mesmos que representavam os preços das tarifas mais baixas para cada rota, por forma a fazer uma melhor correspondência ao preço de venda dos bilhetes ao longo de todo o ano. Os valores obtidos são apresentados na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 – Número de frequências diárias para os mercados existentes

	Rota	Nº voos diários				Lucro (€)
		A321	A320	A319	ERJ 190	
1	LIS-MAD	0	9	0	0	59 633,34
2	LIS-ORY	0	9	2	0	-35 877,85
3	LIS-FCO	0	4	1	0	-33 040,62
4	LIS-LHR	2	7	0	0	14 990,95
5	LIS-ZRH	2	1	1	0	17 963,25
6	LIS-VIE	1	1	0	0	24 825,35
7	LIS-PRG	0	0	1	1	15 782,36
8	LIS-BRU	0	2	4	0	-25 896,95
9	LIS-AMS	0	7	0	0	7 499,18
10	LIS-CPH	0	1	2	0	10 841,25
11	LIS-OSL	0	0	2	0	2 383,80
12	LIS-ARN	0	0	1	1	4 685,50
13	LIS-WAW	1	0	0	0	14 608,47
14	LIS-LUX	0	0	1	1	809,47
15	LIS-TXL	0	1	1	0	18 131,83
16	LIS-BUD	1	0	0	0	19 199,66
17	LIS-HEL	1	0	0	0	9 568,92
18	LIS-OTP	0	0	2	0	-4 580,21
19	LIS-FRA	0	7	0	0	-53 022,00
20	LIS-MUC	0	2	2	0	28 212,10
21	LIS-BCN	0	7	1	0	9 020,14
22	LIS-GVA	0	0	5	0	-1 087,79
23	LIS-MXP	0	2	2	0	-15 373,86
					Σ	89 276,29

Com o objetivo de maximizar o lucro, as otimizações das frequências para as rotas em todo o seu conjunto, apresentam um lucro positivo para a situação atual. No entanto é de realçar que sete destas rotas apresentam prejuízos, nomeadamente Paris, sendo este o destino que apresenta o maior número de frequências diárias.

Será importante realçar que todas as rotas em que são obtidos prejuízo, à exceção de Bucarest, têm uma forte concorrência por parte de outras companhias aéreas, nomeadamente companhias *low-cost*. Assim sendo, há uma maior competitividade de preços que levam a companhia em estudo a oferecer preços semelhantes e bastante competitivos.

Deste primeiro resultado pode extrair-se que apesar do aumento de 50% do valor inicial dos bilhetes, para algumas das rotas existentes, continuam a observar-se prejuízos. No entanto a maioria destas rotas são pontos importantes de ligação e será do interesse da companhia mantê-las. Tendo isto em consideração, será importante para a companhia ressaltar destinos em que

há uma forte presença de emigrantes portugueses, como é o caso de Paris e Genebra. Bruxelas, sendo a capital da União Europeia também será importante para a companhia marcar presença neste mercado. É ainda igualmente importante continuar a operar a rota Frankfurt, uma vez que é uma importante base de ligação a destinos intercontinentais. Das restantes rotas que apresentam valores negativos, Bucareste e Milão poderiam ser eliminados desta rede, pois representam ligações de uma menor importância. Roma poderá ainda ser considerado um destino com alguma relevância na medida em que é capital, e será importante garantir a ligação ao país por parte da companhia.

Fazendo a comparação com as frequências atuais apresentadas no Capítulo 3 com os resultados obtidos pelo modelo, verificaram-se algumas modificações. Para nenhuma rota dos resultados apresentados pelo modelo se verificaram que as frequências diárias diminuíssem em relação às já existentes. Manteve-se igual para dez destinos, aumentando nos restantes catorze. Também se observa que alguns destinos viram as suas frequências dadas pelo modelo aumentadas, ainda que o resultado da procura modelada da linearização tenha diminuído. Isto dever-se-á ao facto de se ter imposto uma restrição de que a procura deveria ser toda satisfeita para estas rotas.

5.2.2 Novos Mercados

Com o objetivo de estudar a abertura de novos mercados europeus a partir da base em Lisboa, foram assim estudadas treze novas alternativas. Para esta nova abordagem foi introduzida a restrição no modelo, em que, se o mercado não fosse rentável estes mercados não deveriam ser considerados.

Como é possível observar na Tabela 5.9, dos novos mercados propostos inicialmente, apenas 3 (Edimburgo, Atenas e Istambul) apresentam resultados positivos no que diz respeito ao lucro diário aumentando este resultado em 16,1% face ao lucro inicial obtido. A considerar esta otimização, a companhia apenas teria de garantir a ligação com um voo diário para cada uma das três novas rotas apresentadas. A abertura de novos mercados num reduzido número já seria expectável, pois na sua maioria, os novos mercados propostos apresentam uma estimativa para a procura bastante baixa. Apesar de para Dublin se ter estimado a maior procura dos novos mercados estudados, verificou-se não ser uma rota rentável. Isto pode dever-se ao facto de ser uma rota com alguma concorrência por parte de companhias *low-cost*, e as receitas com bilhetes vendidos serão reduzidas.

No que diz respeito aos destinos já existentes, com a introdução destes novos mercados apenas duas rotas sofreram modificações. Zurique vê assim aumentada a sua frequência diária de quatro para cinco voos, com alteração dos modelos de aeronave utilizados, obtendo-se um

aumento do lucro diário para esta rota. Por outro lado, observa-se um aumento do prejuízo na ligação a Milão, para esta situação o número de frequências diárias serão as mesmas, no entanto com uma diferente distribuição dos modelos das aeronaves. Como já havia sido mencionado em cima esta última rota poderia ser excluída, potenciando os lucros da companhia.

Tabela 5.9 – Número de frequências diárias para mercados existentes e novos e respetivos lucros

	Rota	Nº voos diários				Lucro (€)
		A321	A320	A319	ERJ 190	
1	LIS-MAD	0	9	0	0	59 633,34
2	LIS-ORY	0	9	2	0	-35 877,85
3	LIS-FCO	0	4	1	0	-33 040,62
4	LIS-LHR	2	7	0	0	14 990,95
5	LIS-ZRH	0	1	4	0	10 656,16
6	LIS-VIE	1	1	0	0	24 825,35
7	LIS-PRG	0	0	1	1	15 782,36
8	LIS-BRU	0	2	4	0	-25 896,95
9	LIS-AMS	0	7	0	0	7 499,18
10	LIS-CPH	0	1	2	0	10 841,25
11	LIS-OSL	0	0	2	0	2 383,80
12	LIS-ARN	0	0	1	1	4 685,50
13	LIS-WAW	1	0	0	0	14 608,47
14	LIS-LUX	0	0	1	1	809,47
15	LIS-TXL	0	1	1	0	18 131,83
16	LIS-BUD	1	0	0	0	19 199,66
17	LIS-HEL	1	0	0	0	9 568,92
18	LIS-OTP	0	0	2	0	-4 580,21
19	LIS-FRA	0	7	0	0	-53 022,00
20	LIS-MUC	0	2	2	0	28 212,10
21	LIS-BCN	0	7	1	0	9 020,14
22	LIS-GVA	0	0	5	0	-1 087,79
23	LIS-MXP	1	0	2	1	-14 097,19
24	LIS-DUB	0	0	0	0	0,00
25	LIS-BFS	0	0	0	1	0,00
26	LIS-EDI	0	1	0	0	5 930,09
27	LIS-BTS	0	0	0	0	0,00
28	LIS-ZAG	0	0	0	0	0,00
29	LIS-LJU	0	0	0	0	0,00
30	LIS-ATH	0	1	0	0	1 095,78
31	LIS-VNO	0	0	0	0	0,00
32	LIS-RIX	0	0	0	0	0,00
33	LIS-TLL	0	0	0	0	0,00
34	LIS-SOF	0	0	0	0	0,00
35	LIS-IST	1	0	0	0	13 373,96
36	LIS-TGD	0	0	0	0	0,00
					Σ	103 645,70

Numa nova abordagem, são retiradas duas das rotas não lucrativas, Bucareste e Milão, e que não são consideradas um ponto de ligação importante para a companhia. Após uma nova otimização verificam-se mudanças na atribuição de aeronaves aos novos destinos e também no lucro que é aumentado em 36,5% comparativamente ao cenário inicial e 17,6% em relação ao cenário novos mercados. Os resultados podem ser observados na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 - Número de frequências diárias para mercados existentes e novos e respetivos lucros sem OTP e MXP

	Rota	Nº voos diários				Lucro (€)
		A321	A320	A319	ERJ 190	
1	LIS-MAD	0	9	0	0	59 633,34
2	LIS-ORY	0	9	2	0	-35 877,85
3	LIS-FCO	0	4	1	0	-33 040,62
4	LIS-LHR	2	7	0	0	14 990,95
5	LIS-ZRH	0	1	4	0	10 656,16
6	LIS-VIE	1	1	0	0	24 825,35
7	LIS-PRG	0	0	1	1	15 782,36
8	LIS-BRU	0	2	4	0	-25 896,95
9	LIS-AMS	0	7	0	0	7 499,18
10	LIS-CPH	0	1	2	0	10 841,25
11	LIS-OSL	0	0	2	0	2 383,80
12	LIS-ARN	0	0	1	1	4 685,50
13	LIS-WAW	1	0	0	0	14 608,47
14	LIS-LUX	0	0	1	1	809,47
15	LIS-TXL	0	1	1	0	18 131,83
16	LIS-BUD	1	0	0	0	19 199,66
17	LIS-HEL	1	0	0	0	9 568,92
19	LIS-FRA	0	7	0	0	-53 022,00
20	LIS-MUC	0	2	2	0	28 212,10
21	LIS-BCN	0	7	1	0	9 020,14
22	LIS-GVA	0	0	5	0	-1 087,79
26	LIS-EDI	1	0	0	0	8 601,24
30	LIS-ATH	1	0	0	0	2 873,18
35	LIS-IST	0	1	0	0	8 504,22
					Σ	121 901,91

5.2.3 Variação da Procura

De modo a retirar conclusões para o caso de haver variações um tanto significativas na procura de passageiros foram analisados três cenários, o aumento de 10% e 20% da procura de

passageiros e ainda a diminuição de 10% na procura. Os resultados são apresentados para as rotas existentes e propostas como se pode verificar na Tabela 5.11.

Tabela 5.11 – Frequências diárias e lucros para a variação da procura

	Rota	Nº total voos diários			Lucro (€)		
		+10%	+20%	-10%	+10%	+20%	-10%
1	LIS-MAD	10	11	9	65 426,88	70 703,64	50 370,02
2	LIS-ORY	12	12	10	-38 394,63	-34 459,61	-33 619,14
3	LIS-FCO	6	7	5	-39 865,75	-46 690,89	-32 798,36
4	LIS-LHR	11	12	9	8 360,99	8 562,17	5 909,29
5	LIS-ZRH	5	6	4	15 594,54	12 933,53	11 417,32
6	LIS-VIE	3	3	2	22 333,31	24 906,29	20 624,32
7	LIS-PRG	2	2	2	19 000,46	21 865,91	12 564,25
8	LIS-BRU	6	7	5	-24 287,89	-29 530,96	-21 237,03
9	LIS-AMS	8	9	6	6 729,64	5 960,09	9 957,01
10	LIS-CPH	3	3	3	13 241,33	17 739,30	5 580,42
11	LIS-OSL	2	2	2	4 416,09	8 325,72	-65,68
12	LIS-ARN	2	2	2	7 221,67	9 313,19	-740,90
13	LIS-WAW	1	2	1	19 222,17	11 805,24	13 935,83
14	LIS-LUX	2	2	2	2 242,15	3 384,13	-623,21
15	LIS-TXL	2	2	2	21 770,74	24 686,59	14 131,38
16	LIS-BUD	2	2	1	12 929,81	15 270,74	14 371,16
17	LIS-HEL	1	2	1	14 237,22	4 743,57	9 539,88
18	LIS-OTP	2	2	2	171,79	1 612,34	-6 462,28
19	LIS-FRA	8	9	6	-60 478,76	-69 020,55	-45 100,22
20	LIS-MUC	4	5	3	34 298,94	31 009,21	30 208,51
21	LIS-BCN	10	10	7	4 167,66	9 265,02	9 461,87
22	LIS-GVA	5	6	3	2 116,60	-1 305,35	8 960,50
23	LIS-MXP	4	4	3	-12 485,45	-11 157,42	-9 041,87
24	LIS-DUB	0	0	4	0,00	0,00	2 588,01
25	LIS-BFS	0	0	0	0,00	0,00	0,00
26	LIS-EDI	1	1	1	9 273,24	9 273,24	5 930,09
27	LIS-BTS	0	0	0	0,00	0,00	0,00
28	LIS-ZAG	0	1	0	0,00	1 272,45	0,00
29	LIS-LJU	0	0	0	0,00	0,00	0,00
30	LIS-ATH	0	0	0	30,30	0,00	0,00
31	LIS-VNO	0	0	0	0,00	0,00	0,00
32	LIS-RIX	1	1	0	651,93	2 912,43	0,00
33	LIS-TLL	0	0	0	0,00	0,00	0,00
34	LIS-SOF	1	1	0	29,09	2 017,19	0,00
35	LIS-IST	1	2	1	13 373,96	7 843,36	8 504,22
36	LIS-TGD	0	0	0	0,00	0,00	0,00
				Σ	121 328,03	113 240,57	84 365,39

Verifica-se que, quando é feito o aumento em 10% da procura, a maior parte das rotas que pertencem à rede da companhia e em que inicialmente se verificaram prejuízos, esta situação não é revertida com o aumento da procura. No entanto observa-se que destinos como Bucareste e Genebra que antes não eram lucrativos passam a sê-lo. Isto dever-se-á ao facto de com o aumento da procura ser feita uma nova otimização da atribuição das frequências e respetivas aeronaves. Havendo para estes destinos um maior preenchimento do número de lugares nas aeronaves o lucro final irá aumentar, uma vez que os custos operacionais se mantêm e as receitas das vendas de bilhetes são aumentada. Com este aumento observa-se ainda que há um aumento do número de novas rotas a apresentar lucro, ainda que seja um lucro baixo, como é o caso de Atenas, Riga e Sófia. O lucro final obtido para este cenário traduz-se num aumento de 35,9% face ao caso inicial apresentado.

Para um aumento de 20% as diferenças observadas recaem para o destino Genebra que volta a apresentar prejuízo, pois com o aumento da procura é adicionada mais uma ligação diária a este destino. Pode ainda observar-se que devido a este aumento seria mais vantajoso voar para Zagreb ao invés de Atenas como verificado para o caso anterior. No global o aumento de 20% da procura traduz-se num resultado menos lucrativo para a companhia do que o aumento de 10% da procura, no entanto o aumento relativamente ao caso inicial é de 26,8%.

Por fim foi diminuída em 10% a procura de passageiros. Verificam-se diferenças em relação ao caso inicial na medida em que há mais rotas a apresentar resultados negativos como é o caso de Oslo, Estocolmo e Luxemburgo. Para este cenário há proposta de abertura de três novas rotas, Dublin, Edimburgo e Istambul. Os resultados para este cenário mostram uma diminuição do lucro relativamente ao caso inicial em 5.5%.

5.2.4 Variação do Preço dos Bilhetes

O preço dos bilhetes será o principal fator de lucro para a companhia e por isso determinante neste caso. No entanto, é preciso ter em conta que se houver um aumento substancial do preço dos bilhetes este poderá influenciar a procura e baixar a competitividade, uma vez que parte significativa das rotas em causa têm bastante oferta por parte de outras companhias aéreas.

Para este primeiro caso, foi feito um estudo apenas para as rotas já operadas pela companhia e que apresentavam valores negativos, na medida em que o aumento dos preços dos bilhetes seria tal, que os mercados em que se verificavam resultados negativos passariam a apresentar lucros. Os preços dos bilhetes foram aumentados gradualmente por forma a chegar-se a um resultado positivo. É ainda de destacar que o aumento destes preços em nada influencia no modelo a uma

modificação no que diz respeito às frequências e aeronaves utilizadas. Os resultados desta abordagem podem ser observados na Tabela 5.12.

Tabela 5.12 – Aumento do preço dos bilhetes para destinos existentes não lucrativos

	Rota	Inicial	Acréscimo de preço					
			10%	20%	30%	40%	50%	60%
2	LIS-ORY	-35 877,85	-20 974,75	-6 071,65	8 831,45	8 831,45	8 831,45	8 831,45
3	LIS-FCO	-33 040,62	-26 393,82	-19 747,02	-13 100,22	-6 453,42	193,38	193,38
8	LIS-BRU	-25 896,95	-17 727,35	-9 557,75	-1 388,15	6 781,45	6 781,45	6 781,45
18	LIS-OTP	-4 580,21	171,79	171,79	171,79	171,79	171,79	171,79
19	LIS-FRA	-53 022,00	-43 893,30	-34 764,60	-25 635,90	-16 507,20	-7 378,50	1 750,20
22	LIS-GVA	-1 087,79	6 622,51	6 622,51	6 622,51	6 622,51	6 622,51	6 622,51
23	LIS-MXP	-15 373,86	-9 790,26	-4 206,66	1 376,94	1 376,94	1 376,94	1 376,94
	Σ	89 276,29	146 170,39	190 602,19	235 033,99	258 979,09	274 754,59	283 883,29

Verifica-se que com um aumento de 10% no preço dos bilhetes, para os destinos Bucareste e Genebra, estes passam a apresentar resultados positivos. Paris e Milão conseguem atingir lucros com aumento em 30% do preço base do bilhete e para Roma teria de se aumentar em 50% para se poderem passar a verificar valores positivos. É ainda de salientar o facto de que para este modelo, a rota Frankfurt só começa a ser lucrativa aquando o aumento do seu preço de bilhete base em 60%, recordando-se que para esta rota o seu preço base de bilhete é bastante baixo, e o seu prejuízo inicial também ser algo elevado. Os somatórios finais apresentados dizem respeito ao lucro total diário para a companhia, o pode ver-se que aumentando ainda que gradualmente o preço dos bilhetes apenas para algumas rotas os valores finais de lucro aumentam bastante relativamente ao caso inicial.

De seguida, foi feita uma abordagem idêntica, mas considerando apenas os efeitos da variação de preços quando se consideram as novas rotas propostas. Foram então estudados 3 casos de aumentos no preço dos bilhetes. O Caso 1 corresponde ao aumento de 10% do preço dos bilhetes para todos os novos destinos propostos mantendo-se os destinos existentes sem qualquer alteração nos preços dos bilhetes. O Caso 2, em que para além de serem aumentados os preços em 10% em rotas que inicialmente obtiveram lucro (Edimburgo, Atenas, Istambul), também foi aumentado na mesma percentagem, um mercado com uma procura elevada, como é o caso de Dublin, e ainda um mercado com uma procura intermédia, Zagreb. No Caso 3, apenas se aumenta o preço do bilhete para Zagreb em 20%. Os resultados poderão ser encontrados na Tabela 5.13.

Tabela 5.13 – Aumento do preço dos bilhetes para os novos destinos

	Rota	Nº total voos diários			Lucro (€)		
		Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 1	Caso 2	Caso 3
1	LIS-MAD	9	9	9	59 633,34	59 633,34	59 633,34
2	LIS-ORY	11	11	11	-35 877,85	-35 877,85	-35 877,85
3	LIS-FCO	5	5	5	-33 040,62	-33 040,62	-33 040,62
4	LIS-LHR	9	9	9	14 990,95	14 990,95	14 990,95
5	LIS-ZRH	5	5	5	10 656,16	10 656,16	10 656,16
6	LIS-VIE	2	2	2	24 825,35	24 825,35	24 825,35
7	LIS-PRG	2	2	2	15 782,36	15 782,36	15 782,36
8	LIS-BRU	6	6	6	-25 896,95	-25 896,95	-25 896,95
9	LIS-AMS	8	8	8	899,50	899,50	899,50
10	LIS-CPH	3	3	3	10 841,25	10 841,25	10 841,25
11	LIS-OSL	2	2	2	2 383,80	2 383,80	2 383,80
12	LIS-ARN	2	2	2	4 685,50	4 685,50	4 685,50
13	LIS-WAW	1	1	1	14 608,47	14 608,47	14 608,47
14	LIS-LUX	2	2	2	809,47	809,47	809,47
15	LIS-TXL	2	2	2	18 131,83	18 131,83	18 131,83
16	LIS-BUD	1	1	1	19 199,66	19 199,66	19 199,66
17	LIS-HEL	1	1	1	9 568,92	9 568,92	9 568,92
18	LIS-OTP	2	2	2	-4 580,21	-4 580,21	-4 580,21
19	LIS-FRA	7	7	7	-53 022,00	-53 022,00	-53 022,00
20	LIS-MUC	4	4	4	28 212,10	28 212,10	28 212,10
21	LIS-BCN	8	8	8	9 020,14	9 020,14	9 020,14
22	LIS-GVA	5	5	5	-1 087,79	-1 087,79	-1 087,79
23	LIS-MXP	4	4	4	-15 373,86	-15 373,86	-15 373,86
24	LIS-DUB	4	4	4	12 695,30	12 695,30	12 695,30
25	LIS-BFS	0	0	0	0,00	0,00	0,00
26	LIS-EDI	1	1	1	8 651,69	8 651,69	8 651,69
27	LIS-BTS	0	0	0	0,00	0,00	0,00
28	LIS-ZAG	0	0	1	0,00	0,00	1 272,45
29	LIS-LJU	0	0	0	0,00	0,00	0,00
30	LIS-ATH	1	1	1	4 060,38	4 060,38	4 060,38
31	LIS-VNO	0	0	0	0,00	0,00	0,00
32	LIS-RIX	1	0	0	651,93	0,00	0,00
33	LIS-TLL	0	0	0	0,00	0,00	0,00
34	LIS-SOF	1	0	0	29,09	0,00	0,00
35	LIS-IST	1	1	1	18 293,96	18 293,96	18 293,96
36	LIS-TGD	0	0	0	0,00	0,00	0,00
				Σ	119 751,87	119 070,85	120 343,30

Os resultados obtidos para o Caso 1, consideram a abertura de seis novas rotas, no entanto como se pode observar os destinos Riga e Sófia ainda que apresentem lucros, estes são bastante baixos. No que diz respeito às rotas já operadas pela companhia as únicas diferenças verificadas para a abordagem inicial, sem aumento de preços são o acréscimo de uma ligação a Amsterdão e a diminuição do prejuízo da rota Milão que apesar de serem feitas as mesmas ligações diárias,

são atribuídas diferentes aeronaves. O lucro final mostra um aumento de 34,1% em relação ao caso inicial.

Para o Caso 2, com este aumento e como anteriormente foi observado, Dublin passa a ser um destino rentável com a ligação a este destino com quatro voos diários. No entanto com este aumento de preço dos bilhetes Zagreb ainda não apresenta valores de lucro. Para este caso o lucro final tem um crescimento de 33,4% relativamente ao problema inicial.

Para o Caso 3 e no seguimento do caso anterior, tendo como objetivo a abertura da rota Zagreb, aumentou-se o preço do bilhete em 20% como já referido. Com este aumento observa-se que esta rota já passa a apresentar lucro. Para este caso, o lucro final aumenta em 34,8% relativamente ao caso inicial sendo o que apresenta um maior crescimento.

5.2.5 Variação da Frota

A frota que companhia aérea tem à sua disposição é determinante para a abertura de novas rotas ou substituição das já existentes. Foi feito o estudo no que diz respeito à variação da frota existente da companhia aérea, de modo a perceber como este fator terá influência na abertura das novas rotas, e ainda na otimização das frequências diárias para os destinos já existentes.

Numa primeira instância foram acrescentadas cinco novas aeronaves à frota da companhia, uma A321, duas A320 e duas A319. Os resultados podem ser observados na Tabela 5.14. Com aumento da frota, verificam-se várias mudanças relativamente aos resultados obtidos inicialmente no modelo, incluindo as novas rotas. Foi possível verificar que para alguns dos destinos já existentes as frequências diminuíram, isto deve-se ao facto de passarem a ser operadas aeronaves com maior capacidade e há por isso uma otimização entre satisfazer toda a procura para os destinos existentes e o número de frequências diárias. Para os possíveis novos mercados, mantém-se a possibilidade de abertura de três novas rotas. No entanto com esta modificação será preferível voar para Dublin ao invés de Atenas como inicialmente se havia verificado. Com estas mudanças, globalmente verifica-se um aumento do lucro em 30,5%. À exceção de Genebra que apresenta com esta alteração resultados positivos, todos os outros destinos em que se verificavam prejuízos mantêm estes valores. É, no entanto, preciso salientar que apesar de se registarem aumentos de lucro nas operações, estes terão de compensar o investimento feito para aquisição das novas aeronaves.

Tabela 5.14 – Acréscimo de cinco aeronaves à frota da companhia

	Rota	Nº voos diários				Lucro (€)
		A321	A320	A319	ERJ 190	
1	LIS-MAD	1	7	1	0	59 338,04
2	LIS-ORY	0	9	2	0	-35 877,85
3	LIS-FCO	0	4	1	0	-33 040,62
4	LIS-LHR	2	7	0	0	14 990,95
5	LIS-ZRH	2	1	1	0	17 963,25
6	LIS-VIE	1	1	0	0	24 825,35
7	LIS-PRG	0	0	1	1	15 782,36
8	LIS-BRU	2	2	1	0	-18 607,45
9	LIS-AMS	0	7	0	0	7 499,18
10	LIS-CPH	0	1	2	0	10 841,25
11	LIS-OSL	0	0	2	0	2 383,80
12	LIS-ARN	0	0	1	1	4 685,50
13	LIS-WAW	1	0	0	0	14 608,47
14	LIS-LUX	0	0	1	1	809,47
15	LIS-TXL	0	1	1	0	18 131,83
16	LIS-BUD	1	0	0	0	19 199,66
17	LIS-HEL	1	0	0	0	9 568,92
18	LIS-OTP	0	0	2	0	-4 580,21
19	LIS-FRA	0	7	0	0	-53 022,00
20	LIS-MUC	0	2	2	0	28 212,10
21	LIS-BCN	0	7	1	0	9 020,14
22	LIS-GVA	1	3	0	0	4 080,75
23	LIS-MXP	0	2	2	0	-15 373,86
24	LIS-DUB	0	1	0	0	647,00
25	LIS-BFS	0	0	0	0	0,00
26	LIS-EDI	0	1	0	0	5 930,09
27	LIS-BTS	0	0	0	0	0,00
28	LIS-ZAG	0	0	0	0	0,00
29	LIS-LJU	0	0	0	0	0,00
30	LIS-ATH	0	0	0	0	0,00
31	LIS-VNO	0	0	0	0	0,00
32	LIS-RIX	0	0	0	0	0,00
33	LIS-TLL	0	0	0	0	0,00
34	LIS-SOF	0	0	0	0	0,00
35	LIS-IST	0	1	0	0	8 504,22
36	LIS-TGD	0	0	0	0	0,00
					Σ	116 520,34

Estudando agora a possibilidade de a companhia poder adquirir dez aeronaves, duas A321, quatro A320 e quatro A319, os resultados obtidos são apresentados na Tabela 5.15. Para este cenário é possível verificar que Genebra apresenta de novo lucros, passa a haver quatro novas

rotas possíveis, Dublin, Edimburgo, Atenas e Istambul e os lucros globais como seria expectável voltam a crescer para este cenário em 42,7% comparativamente ao lucro inicial.

Tabela 5.15 – Acréscimo de dez aeronaves à frota da companhia

	Rota	Nº voos diários				Lucro (€)
		A321	A320	A319	ERJ 190	
1	LIS-MAD	0	9	0	0	59 633.34
2	LIS-ORY	0	9	2	0	-35 877.85
3	LIS-FCO	0	4	1	0	-33 040.62
4	LIS-LHR	2	7	0	0	14 990.95
5	LIS-ZRH	2	1	1	0	17 963.25
6	LIS-VIE	1	1	0	0	24 825.35
7	LIS-PRG	0	0	1	1	15 782.36
8	LIS-BRU	2	2	1	0	-18 607.45
9	LIS-AMS	0	7	0	0	7 499.18
10	LIS-CPH	0	1	2	0	10 841.25
11	LIS-OSL	0	0	2	0	2 383.80
12	LIS-ARN	0	0	1	1	4 685.50
13	LIS-WAW	1	0	0	0	14 608.47
14	LIS-LUX	0	0	1	1	809.47
15	LIS-TXL	0	1	1	0	18 131.83
16	LIS-BUD	1	0	0	0	19 199.66
17	LIS-HEL	1	0	0	0	9 568.92
18	LIS-OTP	0	0	2	0	-4 580.21
19	LIS-FRA	0	7	0	0	-53 022.00
20	LIS-MUC	0	2	2	0	28 212.10
21	LIS-BCN	0	7	1	0	9 020.14
22	LIS-GVA	1	3	0	0	4 080.75
23	LIS-MXP	0	2	2	0	-15 373.86
24	LIS-DUB	0	4	0	0	2 588.01
25	LIS-BFS	0	0	0	0	0.00
26	LIS-EDI	1	0	0	0	8 601.24
27	LIS-BTS	0	0	0	0	0.00
28	LIS-ZAG	0	0	0	0	0.00
29	LIS-LJU	0	0	0	0	0.00
30	LIS-ATH	0	1	0	0	1 095.78
31	LIS-VNO	0	0	0	0	0.00
32	LIS-RIX	0	0	0	0	0.00
33	LIS-TLL	0	0	0	0	0.00
34	LIS-SOF	0	0	0	0	0.00
35	LIS-IST	1	0	0	0	13 373.96
36	LIS-TGD	0	0	0	0	0.00
					Σ	127 393.32

De seguida e analogamente ao que já foi apresentado, as rotas Bucareste e Milão foram excluídas da rede, mantendo-se o aumento de cinco aeronaves acima descrito. Para este cenário, é possível observar que a rota efetuada para Genebra volta a apresentar lucros e há entrada de um possível novo destino, Atenas, passando a quatro o número de novas rotas a considerar para a rede da companhia. Verifica-se ainda o aumento global dos lucros.

Para o caso em que se retiram as rotas Bucareste e Milão e há a adição das dez novas aeronaves, os resultados obtidos são os mesmos, mantendo-se a abertura de quatro novos mercados, sendo que as principais diferenças se encontram na frequência diária de voos para Dublin, que aumenta, passando a satisfazer um maior número de passageiros, segundo os resultados obtidos para a procura deste destino. O mesmo acontece com Edimburgo e Istambul que passam a ser operados por aeronaves com maior capacidade transportando assim um maior número de passageiros. Os resultados para as duas situações são apresentados na Tabela 5.16.

Tabela 5.16 – Acréscimo de cinco e dez novas aeronaves retirando as rotas OTP e MXP

	Rota	Nº voos diários		Lucro (€)	
		5 aeronaves	10 aeronaves	5 aeronaves	10 aeronaves
1	LIS-MAD	9	9	59 633,34	59 633,34
2	LIS-ORY	11	11	-35 877,85	-35 877,85
3	LIS-FCO	5	5	-33 040,62	-33 040,62
4	LIS-LHR	9	9	14 990,95	14 990,95
5	LIS-ZRH	4	4	17 963,25	17 963,25
6	LIS-VIE	2	2	24 825,35	24 825,35
7	LIS-PRG	2	2	15 782,36	15 782,36
8	LIS-BRU	5	5	-18 607,45	-18 607,45
9	LIS-AMS	7	7	7 499,18	7 499,18
10	LIS-CPH	3	3	10 841,25	10 841,25
11	LIS-OSL	2	2	2 383,80	2 383,80
12	LIS-ARN	2	2	4 685,50	4 685,50
13	LIS-WAW	1	1	14 608,47	14 608,47
14	LIS-LUX	2	2	809,47	809,47
15	LIS-TXL	2	2	18 131,83	18 131,83
16	LIS-BUD	1	1	19 199,66	19 199,66
17	LIS-HEL	1	1	9 568,92	9 568,92
19	LIS-FRA	7	7	-53 022,00	-53 022,00
20	LIS-MUC	4	4	28 212,10	28 212,10
21	LIS-BCN	8	8	9 020,14	9 020,14
22	LIS-GVA	4	4	4 080,75	4 080,75
24	LIS-DUB	1	4	647,00	2 588,01
25	LIS-BFS	0	0	0,00	0,00
26	LIS-EDI	1	1	5 930,09	8 601,24
27	LIS-BTS	0	0	0,00	0,00
28	LIS-ZAG	0	0	0,00	0,00
29	LIS-LJU	0	0	0,00	0,00
30	LIS-ATH	1	1	1 095,78	1 095,78
31	LIS-VNO	0	0	0,00	0,00
32	LIS-RIX	0	0	0,00	0,00
33	LIS-TLL	0	0	0,00	0,00
34	LIS-SOF	0	0	0,00	0,00
35	LIS-IST	1	1	8 504,22	13 373,96
36	LIS-TGD	0	0	0,00	0,00
			Σ	137 865,49	147 347,39

6 CONCLUSÃO

O constante desenvolvimento e mudança no setor da aviação faz com que um bom planeamento das operações seja a chave para o sucesso das companhias aéreas. O planeamento da sua rede de voos, os mercados a servir, a sua frequência e a frota da companhia são dos principais aspetos a ter em conta.

O trabalho feito nesta dissertação permitiu desenvolver um modelo de otimização que apoie as decisões das companhias aéreas, na altura de fazer o seu planeamento estratégico, nomeadamente na construção da sua rede de voos.

Na primeira parte do trabalho foi feita uma pesquisa sobre o tema, revisão bibliográfica de modelos relevantes de otimização e apresentação de dados necessários à formulação do modelo matemático desenvolvido. O modelo desenvolvido foi testado para uma rede hipotética, mas que teve como inspiração a rede europeia da companhia aérea TAP. A rede de rotas utilizada inicialmente focou-se sobretudo nas capitais europeias e outras cidades consideradas ligações importantes para a companhia. Alguns dos dados utilizados, como os que dizem respeito à frota, destinos e preços de bilhetes foram retirados do website da companhia.

A segunda parte do trabalho diz respeito à aplicação do modelo a um caso real. O modelo matemático desenvolvido teve como objetivo a maximização dos lucros da companhia aérea no seu global. O propósito desta otimização foi o de considerar a hipótese de expansão da rede da companhia, introduzido no modelo, para além dos destinos para a qual já faz ligações, a abertura de novos mercados. Os resultados obtidos permitiram retirar lucros individuais para cada rota, podendo assim verificar a sua rentabilidade, e também as frequências das ligações diárias a cada destino distribuídas pela frota fixa da companhia. Foram ainda feitas explorações de resultados quando há variações de procura, preços dos bilhetes e frota. Foi possível identificar rotas que pertencem à rede de voos da companhia e não apresentam lucros, mas, tendo em conta a sua importância estratégica, devem permanecer na rede. Por outro lado, foram identificadas outras rotas que não são rentáveis e que poderão ser retiradas da rede. No estudo da abertura de novos mercados verificou-se que dos treze possíveis destinos apresentados, apenas alguns poderiam ser considerados a introduzir na rede e dependem de cada uma das situações apresentadas. A abertura destes novos mercados apresenta resultados distintos mediante os cenários estudados.

Pode assim retirar-se do estudo dos vários cenários que, dos treze novos mercados propostos, apenas quatro poderiam ser considerados a introdução na rede de voos já existente, são eles Dublin, Edimburgo, Atenas e Budapeste. Por outro lado, dois dos mercados já existentes na rede inicialmente, Bucareste e Milão, poderiam ser retirados da mesma, uma vez que apresentam resultados negativos e não são considerados pontos estratégicos para a companhia.

Na formulação do problema, e por motivos de simplicidade, os dados relativos à procura de passageiros foram considerados constantes ao longo do ano. Uma vez que este é um setor com uma variância significativa de procura ao longo do ano, trabalhos futuros poderão incluir este fator, considerando a procura para as diferentes épocas do ano. Outro aspeto que deverá ser considerado em estudos futuros são as sinergias resultantes das alianças entre companhias aéreas, uma vez que representam um elemento com impacto no planeamento das suas redes.

Com o crescente aumento da procura por transportes aéreos é cada vez mais importante que as companhias tenham à sua disposição ferramentas de apoio à decisão. Estes permitirão auxiliar nas várias fases de planeamento das operações com o objetivo de otimizar os lucros.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alderighi, M., Cento, A., Nijkamp, P., e Rietveld, P. (2007). Assessment of new hub-and-spoke and point-to-point airline network configurations. *Transport Reviews*, 27(5), 529–549.
- ATAG. (2014), "Aviation benefits beyond borders". ATAG
- Bejan, A., Charles, J. D., e Lorente, S. (2014). The evolution of airplanes. *Journal of Applied Physics*, 116(4).
- Belobaba, P. (2009). *Fundamentals of Pricing and Revenue Management. The Global Airline Industry*.
- Database - Eurostat.(2017.). Consultado em Outubro 12, 2017, de <http://ec.europa.eu/eurostat/data/database>
- FlyTAP - Site Oficial | TAP Air Portugal. (2018). Consultado em Fevereiro 2, 2018, de https://www.flytap.com/pt-pt/?anetwork=PAIDSEARCH&gclid=CjwKCAjww6XXBRByEiwAM-ZUILJj8eNn8xJi0t9dRQq4vpZxAwUokrT9V0YO1x9kBlwrnXFE-c3DIBoCbR8QAvD_BwE&gclsrc=aw.ds&dclid=CLSpq7k5toCFQIS0wod2gUHzg
- TAP Air Portugal. (2018). Frota da TAP - Explore os aviões TAP. Consultado em Fevereiro 10, 2018, de <https://www.flytap.com/pt-pt/a-bordo/conhecer-a-frota>
- ICAO (2018.). Consultado em Março 4, 2018, de <https://www.icao.int/Pages/default.aspx>
- Hsu, C. I., e Wen, Y. H. (2000). Application of Grey theory and multiobjective programming towards airline network design. *European Journal of Operational Research*, 127(1), 44–68.
- Hsu, C. I., e Wen, Y. H. (2002). Reliability evaluation for airline network design in response to fluctuation in passenger demand. *Omega*, 30(3), 197–213.
- Hsu, C. I., e Wen, Y. H. (2003). Determining flight frequencies on an airline network with demand-supply interactions. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 39(6), 417–441.
- International Air Transport Association. (2017). Future of the Airline Industry 2035, 62. Consultado de <https://www.iata.org/policy/Documents/iata-future-airline-industry.pdf>

- International Civil Aviation Organization. (2013). Effects of airlines alliances and mergers on fair competition and monopoly prevention, 1–3.
- Kölker, K., e Lütjens, K. (2015). Using genetic algorithms to solve large-scale airline network planning problems. *Transportation Research Procedia*, 10(July), 900–909.
- Lederer, P. J., e Nambimadom, R. S. (1998). AIRLINE NETWORK DESIGN., 46(6 OP-Operations Research. Nov/Dec98, Vol. 46 Issue 6, p785-804.
- Oum, T. H., e Park, J.-H. (1997). Airline alliances: current status, policy issues, and future directions. *Journal of Air Transport Management*, 3(3), 133–144.
- Park, J.-H. H., Zhang, A., e Zhang, Y. (2001). Analytical models of international alliances in the airline industry. *Transportation Research Part B: Methodological*, 35(9), 865–886.
- Park, J. H. (1997). The effects of airline alliances on markets and economic welfare. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 33(3), 181–195.
- Park, J. H., e Zhang, A. (2000). An empirical analysis of global airline alliances: Cases in North Atlantic markets. *Review of Industrial Organization*, 16(4), 367–384.
- Pels, E. (2001). A note on airline alliances. *Journal of Air Transport Management*, 7(1), 3–7.
- Shaw, S. L. (1993). Hub structures of major US passenger airlines. *Journal of Transport Geography*, 1(1), 47–58.
- Swan, W. M., e Adler, N. (2006). Aircraft trip cost parameters: A function of stage length and seat capacity. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 42(2), 105–115.
- Tae Hoon Oum, Anming Zhang, e Yimin Zhang. (1995). Airline Network Rivalry. *The Canadian Journal of Economics / Revue Canadienne d'Economique*, 28(4a), 836–857.
- Wen, Y. H., e Hsu, C. I. (2006). Interactive multiobjective programming in airline network design for international airline code-share alliance. *European Journal of Operational Research*, 174(1), 404–426.
- Yang, T.-H. (2010). A two-stage stochastic model for airline network design with uncertain demand. *Transportmetrica*, 6(3), 187–213.

ANEXOS

Anexo A – Matriz de coordenadas e distâncias de todos os destinos

Cidade	Aeroporto	Coordenadas	Latitude	Longitude	Distância (km)	X	Y
Lisboa	LIS	38° 46' 53" N 9° 8' 9" W	38,781389	-9,135833	0,00	0	0
Madrid	MAD	40° 29' 36,80" N 003° 34' 00,35" W	40,493556	-3,566764	513,36	483,92	190,07
Paris	ORY	48° 43' 31,00" N 002° 21' 34,00" E	48,725278	2,359444	1437,24	998,88	1103,86
Roma	FCO	41° 48' 16" N 12° 15' 3" E	41,804444	12,250833	1839,75	1858,38	335,59
Londres	LHR	51° 28' 11" N 0° 27' 5" W	51,469722	-0,451389	1564,19	754,63	1408,52
Zurique	ZRH	47° 27' 53" N 8° 32' 57" E	47,464722	8,549167	1723,48	1536,73	963,93
Viena	VIE	48° 6' 37" N 16° 34' 11" E	48,110278	16,569722	2305,00	2233,67	1035,59
Praga	PRG	50° 6' 3" N 14° 15' 36" E	50,100833	14,260000	2228,64	2032,97	1256,56
Bruxelas	BRU	50° 54' 8" N 4° 29' 9" E	50,902222	4,485833	1717,59	1183,65	1345,52
Amsterdão	AMS	52° 18' 31,01" N 004° 45' 50,00" E	52,308614	4,763889	1846,29	1207,81	1501,64
Copenhaga	CPH	55° 37' 04,50" N 012° 39' 21,50" E	55,617917	12,605972	2469,39	1889,24	1869,01
Oslo	OSL	60° 11' 38" N 11° 6' 1" E	60,193889	11,100278	2768,53	1758,41	2376,98
Estocolmo	ARN	59° 39' 07,00" N 017° 55' 07,00" E	59,651944	17,918611	2998,30	2350,88	2316,82
Varsóvia	WAW	52° 10' 0" N 20° 58' 0" E	52,166667	20,966667	2748,96	2615,74	1485,89
Cidade do Luxemburgo	LUX	49° 37' 0" N 6° 12' 0" E	49,616667	6,200000	1710,19	1332,6	1202,81
Berlim	TXL	52° 33' 40" N 13° 17' 22" E	52,561111	13,289444	2302,86	1948,63	1529,67
Budapeste	BUD	47° 26' 12,96" N 019° 15' 20,13" E	47,436933	19,255592	2479,99	2467,06	960,84
Helsínquia	HEL	60° 19' 2" N 24° 57' 48" E	60,317222	24,963333	3363,87	2963,03	2390,67
Bucareste	OTP	44° 34' 20" N 26° 6' 8" E	44,572222	26,102222	2972,17	3062	642,84
Frankfurt	FRA	50° 1' 35" N 8° 32' 35" E	50,026389	8,543056	1871,78	1536,2	1248,3
Munique	MUC	48° 21' 0" N 11° 47' 0" E	48,350000	11,783333	1983,24	1817,76	1062,2
Barcelona	BCN	41° 18' 0" N 2° 5' 0" E	41,300000	2,083333	994,46	974,88	279,59
Genebra	GVA	46° 14' 17" N 6° 6' 32" E	46,238056	6,108889	1495,65	1324,68	827,76
Milão	MPX	45° 37' 50,18" N 008° 43' 41,20" E	45,630606	8,728111	1651,70	1552,28	760,33
Dublin	DUB	53° 25' 17" N 6° 16' 12" W	53,421389	-6,270000	1642,47	249,03	1625,17
Belfast	BFS	54° 35' 27" N 5° 55' 0" W	54,590833	-5,916667	1774,52	279,73	1754,99
Edimburgo	EDI	55° 57' 0" N 3° 22' 21" W	55,950000	-3,372500	1956,12	500,8	1905,87
Braislava	BTS	48° 10' 0" N 17° 13' 0" E	48,166667	17,216667	2352,76	2289,89	1041,85
Zagreb	ZAG	45° 44' 35" N 16° 4' 8" E	45,743056	16,068889	2202,58	2190,15	772,81
Ljubljana	LJU	46° 13' 25" N 14° 27' 27" E	46,223611	14,457500	2093,54	2050,13	826,15
Atenas	ATH	37° 56' 10,89" N 023° 56' 40,08" E	37,936358	23,944467	2870,09	2874,5	-93,81
Vilnius	VNO	54° 38' 0" N 25° 17' 0" E	54,633333	25,283333	3113,07	2990,84	1759,71
Riga	RIX	56° 55' 25" N 23° 58' 16" E	56,923611	23,971111	3136,86	2876,81	2013,95
Talinn	TLL	59° 24' 48" N 24° 49' 58" E	59,413333	24,832778	3308,42	2951,69	2290,33
Sófia	SOF	42° 41' 42,70" N 023° 24' 22,20" E	42,695194	23,406167	2758,59	2827,72	434,47
Isambul	IST	40° 58' 36,92" N 028° 48' 52,58" E	40,976922	28,814606	3222,07	3297,69	243,72
Podgorica	TGD	42° 21' 34" N 19° 15' 7" E	42,359444	19,251944	2418,94	2466,74	397,2

