

A conectividade no contexto do desenvolvimento do conceito de cidade-aeroporto: o caso de estudo do aeroporto de Lisboa

Maria Braga Pestana

Dissertação para obtenção do grau de Mestre em

Engenharia Civil

Orientador: Doutor Vasco Domingos Moreira Lopes Miranda dos Reis

Júri

Presidente: Professor Doutor João Torres de Quinhones Levy

Orientador: Doutor Vasco Domingos Moreira Lopes Miranda dos Reis

Vogal: Professora Doutora Maria do Rosário Maurício Ribeiro Macário

Julho 2015

Agradecimentos

Agradeço ao Doutor Vasco Reis por toda a disponibilidade e apoio dado ao longo da dissertação.

À empresa Official Airline Guide pelos dados disponibilizados.

Gostaria também de agradecer aos pais pela paciência e incentivo, aos tios pelo ânimo e boa disposição, ao Gonçalo por não me deixar desistir de aprender a programar, pela motivação e companhia, e, ainda, a todos os meus amigos.

Abstract

Over time, airports have been promoters of urban development. Alongside this evolution, new concepts of airport-centered developments have emerged. These models of airports are based not only on the basic services of an airport, but also on facilities, services and non-aeronautical revenue streams. The airport-city concept can be considered as dependent of four essential macro-factors, being one of them the connectivity. There are several studies which create connectivity assessment tools. In this dissertation we adapted a methodology previously tested. Thus, the quality of the existing connections of a sample of 32 airports is evaluated, in terms of centrality for each airport, which allows drawing some conclusions regarding the present level of connectivity. The particular case study refers to Lisbon Airport, in a perspective of comparison with other airports already considered Airport-City. Lisbon Airport showed good connectivity; nevertheless some aspects may be improved, such as the increase of the volume of passengers or the number of flights, in order to increase the number of connections and destinations as well as the possibility of improving the temporal concentration or structure wave system.

Key-words: Airport-City; Air Transport Networks; Connectivity; Lisbon Airport.

Resumo

Os aeroportos ao longo do tempo têm sido promotores do desenvolvimento de centros urbanos. A par desta evolução, têm surgido novos conceitos tendo por base não só os serviços fundamentais de um aeroporto, mas também, instalações, serviços e fluxos de receita não-aeronáuticos. Partindo do conceito de cidade-aeroporto, este pode ser interpretado como dependente de quatro macro-factores essenciais, sendo um deles a conectividade do aeroporto. Existe uma grande variedade de estudos que procuraram criar ferramentas de avaliação de conectividade de redes de transporte aéreo. Nesta dissertação é aplicada uma metodologia já anteriormente testada, embora se tenham executado algumas alteração ao processo inicialmente proposto pelos autores. Deste modo é avaliada a qualidade das conexões existentes numa amostra de 32 aeroportos, em termos de centralidade de cada um dos aeroportos, o que permite retirar algumas conclusões quanto ao nível de conectividade presente em cada um deles. O caso de estudo particular refere-se ao aeroporto de Lisboa, numa perspectiva de comparação com aeroportos já considerados cidade-aeroporto. O Aeroporto de Lisboa apresentou boa conectividade, podendo ainda melhorar aspectos tais como, o incremento de volume de passageiros ou o número de voos, levando por sua vez ao aumento de número de conexões e destinos e à possibilidade de melhoria da concentração temporal ou estrutura de sistema de ondas.

Palavras-chave: Cidade-Aeroporto; Redes de Transporte Aéreo; Conectividade; Aeroporto de Lisboa.

Índice

Agradecimentos	i
Abstract	iii
Resumo	v
Índice	vii
Lista de Figuras	ix
Lista de Quadros	xi
Lista de Abreviaturas e Símbolos	xii
Lista de Acrónimos	xiv
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento e Motivação	1
1.2. Objectivo	7
1.3. Metodologia	8
1.4. Estrutura da Dissertação	10
2. Estado da arte	11
2.1. Redes	11
2.1.1. Desenvolvimentos Históricos na área das redes e respectivos modelos	11
2.1.2. Nova Ciência das Redes	14
2.2. Redes de Transporte	15
2.2.1. A Teoria das Redes aplicada ao mundo real – o caso do transporte aéreo	16
2.2.2. Outros Conceitos ligados às redes de transporte	17
2.3. Conectividade	18
2.4. Metodologias de Avaliação de Conectividade Aérea	20
2.4.1. Dimensões	21
2.4.2. Revisão de Medidas de Avaliação de Conectividade	22
2.4.2.1. WNX – Conectividade Ponderada	22
2.4.2.2. CNU - Netscan	24
2.4.2.3. WCn – Número Ponderado de Conectividade	26
2.4.2.4. SPL – <i>Short Path Length</i>	26
2.4.2.5. QPL – <i>Quick Path Length</i>	29
2.4.2.6. Conectividade Gross Vertex	31

2.4.2.7. Número de Padrões de Conexões	32
2.4.2.8. ACI - Índice de conectividade aérea	33
2.4.3. Conclusões acerca das Medidas	35
3. Caso de Estudo	42
3.1. Tratamento de Dados e Aplicação da Metodologia	42
3.2. Amostra de Aeroportos	49
3.3. Análise Geral de Resultados	53
3.3.1. Análise da Conectividade	53
3.3.2. Análise do Número de Passageiros	56
3.3.3. Análise do Número de Conexões	58
3.3.4. Análise do Número de Destinos	60
3.3.5. Análise da Percentagem de Passageiros Internacionais	62
3.3.6. Análise da Percentagem da Companhia Dominante	64
3.4. Discussão de Resultados	66
4. Conclusões	68
Referências	71
ANEXO 1 – Módulo 1, Código VBA (Exemplo)	77
ANEXO 2 – Módulo 2, Código VBA (Exemplo)	79
ANEXO 3 - Módulo 3, Código VBA (Exemplo)	80
ANEXO 4 – Módulo 4, Código VBA (Exemplo)	81
ANEXO 5 – Dados Estatísticos - Verão	82
ANEXO 6 – Dados Estatísticos - Inverno	83
ANEXO 7 – Dados Operacionais	84

Lista de Figuras

Figura 1 – Conceitos de desenvolvimento aeroportuário e suas características. Fonte: Correia e Silva, 2015.....	2
Figura 2 - Conceitos de desenvolvimento urbano centrados no aeroporto. Fonte: Kasarda, 2010.	4
Figura 3 - Plano do Conceito de Cidade-Aeroporto. Fonte: Conway, 1980.....	5
Figura 4 - Principais factores críticos ao desenvolvimento de Cidade-Aeroporto. Fonte: Peneda, 2010.	6
Figura 5 - Tipos de conectividade no Aeroporto X. Fonte: Burghouwt e Redondi, 2013.....	7
Figura 6 - Metodologia da dissertação.	9
Figura 7 - Exemplos de grafos. Os círculos correspondem a nós e as linhas a ligações.	12
Figura 8 - Exemplos de modelos de redes: a) random, b) small-world, c) scale-free. Fonte: Szabó, 2012.....	13
Figura 9 - Processo de religação aleatória para interpolação entre uma rede em forma de anel regular e uma rede aleatória, sem alterar o número de vértices ou arestas do grafo. Fonte: Watts e Strogatz, 1998.....	16
Figura 10 - Gráficos com a distribuição cumulativa logarítmica do tráfego nos maiores aeroportos do mundo, para duas medidas de tráfego linear a) e logarítmica b), carga e número de passageiros. Fonte: Amaral et al., 2000.	17
Figura 11 - Representações da rede de transporte aéreo, sendo a primeira do tipo <i>point-to-point</i> e a segunda do tipo <i>hub-and-spoke</i> . Fonte: Rodrigue, 2013.....	18
Figura 12 - Distribuição de diferentes sub-mercados geográficos em WNX para os <i>hubs</i> Europeus primários. Fonte: OAG.....	24
Figura 13 - a) As 25 cidades do mundo mais bem conectadas; b) As 25 cidades mais centrais do mundo. Fonte: Guimerà et al., 2005.....	28
Figura 14 - Conectores Não- <i>hubs</i> (verde), <i>provincial hubs</i> (amarelo), e <i>connector hubs</i> (castanho) na rede mundial de transporte aéreo. Fonte: Guimerà et al., 2005.	29
Figura 15 - Robustez da conectividade de hubs, nos EUA. Fonte: Ivy (1993).	32
Figura 16 - Fluxograma do processo de cálculo para cada um dos aeroportos estudados, para ambas as épocas.	43
Figura 17 - Representações da distância de grande círculo,.....	46
Figura 18 – Percentis de Voos Eliminados em função da percentagem de corte, para $IDT \leq 6$ horas, para o caso do Aeroporto de Lisboa na época de Verão.....	47
Figura 19 - Percentis de Voos Eliminados em função da percentagem de corte, para $IDT > 6$ horas, para o caso do Aeroporto de Lisboa na época de Verão.....	48
Figura 20 – Áreas de Mercado semanal no aeroporto de Lisboa.	50
Figura 21 - Distribuição global dos aeroportos estudados.	51
Figura 22 - Gráfico correspondente à Média de WI para a época de Verão.	54
Figura 23 - Gráfico correspondente à Média de WI para a época de Inverno.	54
Figura 24 - Gráfico correspondente à média de WI e desvio padrão, para a época de Verão.	55
Figura 25 - Gráfico correspondente à média de WI e desvio padrão, para a época de Inverno.	56

Figura 26 - Gráfico de análise da média de WI tendo em conta o número de passageiros/ano (milhões), para a época Verão.....	57
Figura 27 - Gráfico de análise da média de WI tendo em conta o número de passageiros/ano (milhões), para a época Inverno.....	57
Figura 28 - Gráfico correspondente à análise do número de conexões e média de WI, tendo em conta o desvio padrão, para a época de Verão.....	59
Figura 29 – Gráfico correspondente à análise do número de conexões e média de WI, tendo em conta o desvio padrão, para a época de Inverno.....	59
Figura 30 - Gráfico correspondente à análise do número de destinos e média de WI, tendo em conta o desvio padrão, para a época de Verão.	61
Figura 31 - Gráfico correspondente à análise do número de destinos e média de WI, tendo em conta o desvio padrão, para a época de Inverno.....	61
Figura 32 – Gráfico correspondente à análise de percentagem de passageiros internacionais, para a época de Verão.	63
Figura 33 - Gráfico correspondente à análise de percentagem de passageiros internacionais, para a época de Inverno.....	63
Figura 34 – Gráfico correspondente à análise da percentagem do <i>hub</i> pertencente à companhia aérea dominante, caso Verão.....	65
Figura 35 - Gráfico correspondente à análise da percentagem do <i>hub</i> pertencente à companhia aérea dominante, caso Inverno.	65

Lista de Quadros

Quadro 1 - Principais conceitos de formas urbanas do aeroporto. Fonte: Schaafsma, 2005.	3
Quadro 2 - Síntese dos três principais modelos de redes e respectivos autores e propriedades.....	14
Quadro 3 - Funções dos nós. Fonte: Guimerà et al., 2005.....	28
Quadro 4 - Top 20 de aeroportos europeus, classificados através da conectividade europeia e conectividade mundial, em 2007. Fonte: Malighetti et al. (2008).....	30
Quadro 5 - Excerto dos resultados, ao nível do país, do ACI (2007) e respectivo ranking mundial. Fonte: Arvis e Shepherd (2011).	35
Quadro 6 - Comparação entre medidas de avaliação de conectividade. Adaptado de Burghouwt e Redondi (2013).....	36
Quadro 7 - Tempos mínimos e máximos de transferência consoante os tipos de voo. Adaptação de Danesi (2006).	45
Quadro 8 - Condições de exclusão de conexões consoante o IDT.....	48
Quadro 9 - Aeroportos em estudo.....	52
Quadro 10 - Aeroportos em estudo e respectivas companhias dominantes.	64

Lista de Abreviaturas e Símbolos

a – razão de corte

A_i - potencial repulsivo do nó i

ACI - conectividade média para o nó i ou o índice de conectividade aérea

B_i – *betweenness centrality* da cidade i

B_j - potencial atractivo do nó j

C – matriz de conectividade

CI_i – índice de conectividade do aeroporto i

CNU – número de unidades de conectividade

DR_k – índice de *routing*

DTT – tempo estimado de voo directo, baseado na distância de grande círculo

FLY – tempo de voo

FREQ - frequência

IDT – tempo efectivo de voo com conexão indirecta

K_{ij} - impedância bilateral

MAXT – tempo máximo de viagem percepionado

N – número de aeroportos

NST – tempo de viagem sem-paragem

p - probabilidade de religação entre vértices

P_i – coeficiente de participação do nó i

PTT – tempo de viagem percepionado

QUAL – índice de qualidade

R – factor de *routing*

RI – índice de *routing*

SCM – matriz de conectividade espacial

SPL – caminho mais curto

ST_{ij} - melhor tempo de início de viagem ou tempo de início que minimiza o tempo de viagem

STT_{ij} - tempo mínimo de viagem

STT_{ijt} - tempo de viagem mais curto

T – matriz acessibilidade

TCM – matriz de conectividade temporal

T_h – tempo de transferência

TI – índice de transferência

T_j – tempo máximo de conexão para a conexão j

TRF – tempo de transferência

$M_{i,j}$ – tempo mínimo de conexão para a conexão j no aeroporto i

WI – conexão indirecta ponderada

WCR – rácio ponderado de conectividade

WN_C – número ponderado de conexões

WN_R – número ponderado aproximado de conexões

WNX – número total ou ponderado total de conexões indirectas por hub

X_{ij} - fluxo repelido pelo nó i e atraído pelo nó j

Z_i – grau do nó i dentro da comunidade ou z-score

Lista de Acrónimos

ASA – Air Service Agreements

ATC – Air Traffic Control

ATRS – Air Transport Research Society

CAB - US Civil Aeronautics Board

CEC - Commission of the European Communities

EUA – Estados Unidos da América

IATA - International Air Transport Association

UE – União Europeia

SARS – Severe Acute Respiratory Syndrome

VBA – Visual Basic for Applications

1. Introdução

1.1. Enquadramento e Motivação

Ao longo do tempo, os meios de transporte sempre têm tido um papel fundamental no âmbito do aparecimento e crescimento de centros urbanos. Depois do transporte marítimo, criando diversas cidades ao longo das linhas de costa do mundo, do transporte ferroviário e do transporte rodoviário, o transporte aéreo surge no pós Segunda Guerra Mundial como a quarta onda de transporte, encontrando-se as restantes referidas anteriormente (Conway, 1980).

Os aeroportos são complexas empresas industriais (Doganis, 1992), podendo estes brevemente resumir-se em uma ou mais pistas e edifícios ou terminais adjacentes, usados para facilitar o processo de intercâmbio ar-terra, e vice-versa, associado aos passageiros e carga. A oferta de actividades aeroportuárias diversificadas varia de país para país e de aeroporto para aeroporto.

Os serviços e instalações fornecidas podem ser divididos em três diferentes tipos: serviços e instalações operacionais essenciais, *handling* e actividades comerciais. Os serviços e instalações operacionais essenciais dizem respeito a questões de garantia de segurança das aeronaves e dos utilizadores do aeroporto, incluindo assim serviços de ATC, serviços meteorológicos, telecomunicações, polícia e segurança, serviços de bombeiros e ambulâncias, e, ainda, manutenção das pistas e edifícios. Sendo estes serviços normalmente fornecidos pelos próprios aeroportos ou por departamentos do governo central ou local (Doganis, 1992). As actividades de *handling* dividem-se em *ramp handling*, que são operações na pista e que se relacionam directamente com as aeronaves (e.g. fornecimento de energia, carregamento ou descarregamento de bagagem e limpeza), e em outras actividades de *handling*, relacionadas com o tráfego, englobando as várias etapas do processo terminal-aeronave, que os passageiros, bagagem e carga necessitam de percorrer. As diferentes partes do processo podem ser da responsabilidade de autoridades distintas. Por último, as actividades comerciais encontram-se a cargo de concessionários, diferindo de acordo com a sua própria área de negócio (e.g. parques automóveis, lojas, restauração, hotéis, entre outros), dos quais as autoridades aeroportuárias obtêm rendas ou taxas de concessão.

Entre 1970 e 1980 deu-se uma transformação dos aeroportos para uma orientação mais comercial, permitindo assim que estes se libertassem da enorme dependência das companhias aéreas, gerando lucros consideráveis mesmos nos anos de declínio de algumas companhias (Doganis, 1992).

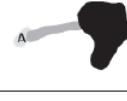
Segundo Doganis (1992), existem três razões fundamentais que têm apoiado o constante aumento dos lucros por parte dos aeroportos, principalmente através de fontes não aeronáuticas e de serviços *duty-free*. A primeira diz respeito ao elevado crescimento de tráfego tanto na Europa, como nos Estados Unidos e na Ásia. Deste modo, e uma vez que os aeroportos beneficiam de economias de escala, à medida que o tráfego aumentou, as pistas e os terminais aumentaram a sua utilização. Distribuindo os seus custos fixos por um maior número de aeronaves e passageiros, tornou-se assim possível a diminuição dos custos unitários. Em segundo lugar, a ideia de que o aeroporto deve ser administrado como uma empresa comercial, devido a vários factores entre eles a privatização, a

redução dos orçamentos públicos ou mesmo a necessidade de diversificar as receitas e reduzir as taxas aeroportuárias. Por último, a terceira razão, relaciona-se com o facto de os aeroportos possuírem uma posição dominante, nomeadamente, no caso de tráfego extra-Europeu.

A visão do aeroporto como núcleo da cidade vem desde Le Corbusier, que reconhecia a importância do transporte aéreo para o planeamento urbano, sendo que a sua cidade ideal apresentava um aeródromo apoiado sobre uma grande estação central multi-modal, circundado por arranha-céus. Contudo, a necessidade de existência de solo disponível, as questões sonoras e o, ainda, irrelevante papel do transporte aéreo na economia, foram empurrando os aeroportos progressivamente para mais longe do centro das cidades (Appold e Kasarda, 2006).

Em contraste com o passado, o transporte aéreo hoje em dia é extremamente relevante para a economia e actividades recreativas, sendo central para muitas cidades (Peneda, 2010). De acordo com alguns autores, o desenvolvimento do aeroporto dos dias de hoje finalmente alcançou a visão de Le Corbusier. O desenvolvimento urbano centrado no aeroporto assume diferentes configurações espaciais, dependendo da escala geográfica, da abordagem de negócio do operador do aeroporto e da maturidade das actividades comerciais do aeroporto (Fraport, 2007). Estas configurações correspondem a diferentes formas urbanas, que têm sido descritas por alguns autores, segundo diferentes conceitos de desenvolvimento:

- *Airport City* (Conway, 1980);
- *Aerotropolis* (Kasarda, 1991);
- *Airport Region* (Fraport, 2007);
- *Airport Corridor* (Schaafsma et al., 2008).

Graphic Example	Concepts' Features	Planning and Developing
Airport Region (70s)		
	<ul style="list-style-type: none"> * An embryonic Aerotropolis from the 70's * A public planners view * Development of residential and industrial areas around the airport * Connected to host city and to main industrial and logistical sites by roads (highways and conventional roads) and conventional rail 	<ul style="list-style-type: none"> * Top-down planning * Public authorities view * Public developers
Airport City		
	<ul style="list-style-type: none"> * Limited to the airport perimeter * Large supply of various services: commerce; public services; leisure and business spaces 	<ul style="list-style-type: none"> * Privately and public developed and managed by airport authorities
Airport Corridor		
	<ul style="list-style-type: none"> * Developed on a corridor between the airport and the host city * Greater and more varied involvement of public on the infrastructure planning * Connected to host city and region by highways (express or not) and railway (express/high speed or not) 	<ul style="list-style-type: none"> * Public-privately planned * Intervention of various stakeholders in cooperation: airport authorities; private developers; local and regional public institutions;
Aerotropolis		
	<ul style="list-style-type: none"> * Extrapolation of the Airport City to the surroundings of its perimeters * Replication of Airport City services, industrial, residential, thematic and logistical spaces * Features similar to Airport Corridor 	<ul style="list-style-type: none"> * Unplanned to national and regional planed * Mix of developers: private; public; private and public

■ Airport; A - Airport City; ■ Concept's area; ■ Host city

Figura 1 – Conceitos de desenvolvimento aeroportuário e suas características. Fonte: Correia e Silva, 2015.

Nota: Figura em língua inglesa.

Os três conceitos *Airport City*, *Airport Corridor* e *Aerotropolis* aparecem como as visões dominantes de desenvolvimento centrado no aeroporto, abrangendo e sintetizando os restantes conceitos, apresentando-se a sua definição no Quadro 1. Além disso, a literatura sugere que o mesmo aeroporto pode evoluir de um modelo para outro, de acordo com a maturidade da infra-estrutura e a evolução do seu modelo de negócio (Fraport, 2007).

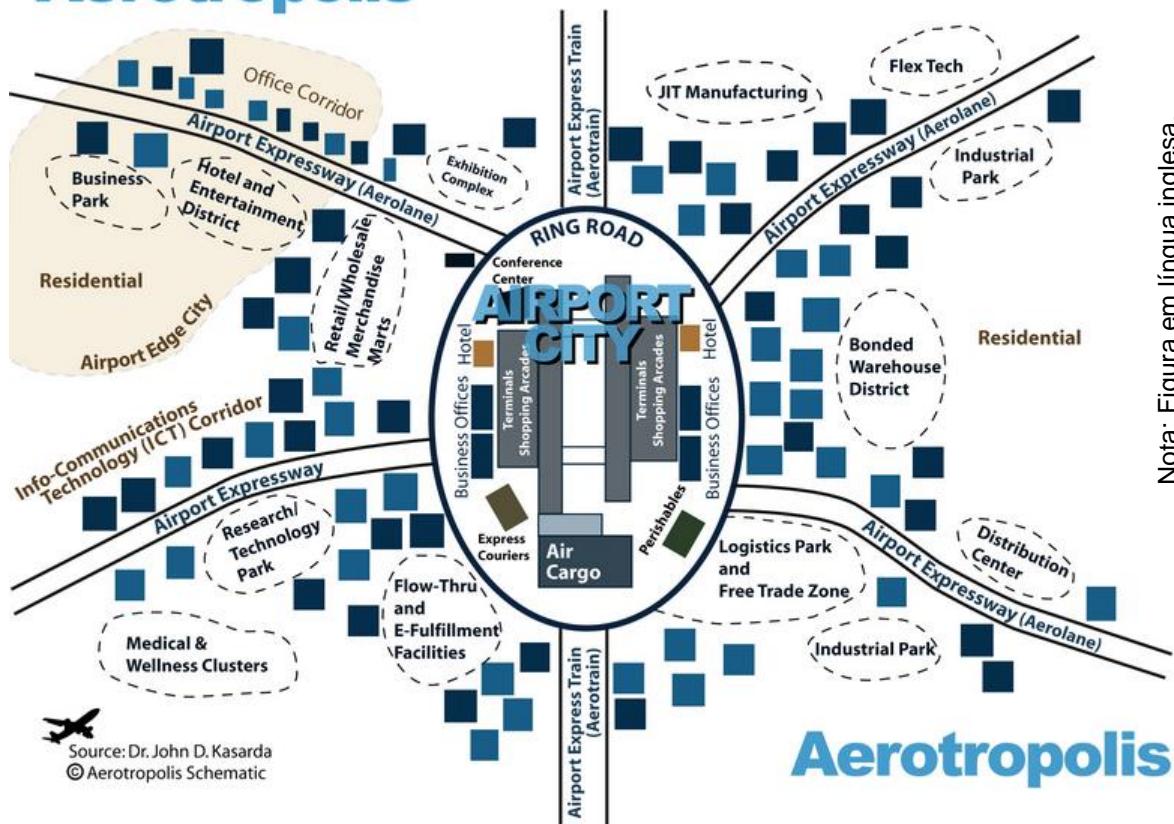
Quadro 1 - Principais conceitos de formas urbanas do aeroporto. Fonte: Schaafsma, 2005.

Conceito	Definição
<i>Airport City</i>	Desenvolvimento integrado do aeroporto e imobiliário (gerido pelo autoridade aeroportuária, planeado).
<i>Airport Corridor</i>	Desenvolvimento integrado da infra-estrutura e imobiliário; entre o aeroporto e a cidade (parcialmente planeado pelo governo).
<i>Aerotropolis</i>	Separado do desenvolvimento do imobiliário em torno do aeroporto (privado); ocorre numa escala metropolitana ou regional.

Alguma informação existente sugere que a ideia de cidade-aeroporto se diferencia dos restantes conceitos aqui apresentados, no sentido que é o único cujo desenvolvimento do aeroporto se encontra limitado/circunscrito ao seu limite geográfico ou vedação (*inside the fence*) (Schaafsma et al, 2008; Kasarda, 2008). Contudo, relativamente ao conceito de cidade-aeroporto não se verifica um consenso quanto à sua definição por parte de diferentes autores.

Segundo Kasarda (2008), o modelo de cidade-aeroporto tem por base não só os serviços fundamentais de um aeroporto, mas também, as instalações, serviços e fluxos de receita não-aeronáuticos, encontrando-se estes cada vez mais desenvolvidos. Segundo este autor o impacto económico e comercial destas alterações têm-se estendido para além das fronteiras do aeroporto. Esta evolução em função e forma é um processo progressivo, em que podem ocorrer manifestações de um ou dos três conceitos acima mencionados.

Aerotropolis



Nota: Figura em língua inglesa.

Figura 2 - Conceitos de desenvolvimento urbano centrados no aeroporto. Fonte: Kasarda, 2010.

Por outro lado, segundo Güller e Güller (2003), o conceito de cidade-aeroporto apareceu nos anos 70, nos EUA, e referia-se simplesmente a parques industriais e de negócios localizados junto ao aeroporto. O conceito tem sido visto por planeadores urbanos e arquitectos como uma nova forma urbana, surgindo como a manifestação espacial da interacção de comércio centrado no aeroporto, desenvolvimento de imobiliário e transporte multi-modal, moldado pelos processos da economia contemporânea, marketing e gestão estratégica. A definição territorial de Güller e Güller (2003), apresenta o cidade-aeroporto como o conjunto mais ou menos denso, de actividades aeroportuárias operacionais, além de outras actividades comerciais e de negócios, em torno da plataforma aeroportuária. No entanto, segundo os autores, este *cluster* é chamado de cidade-aeroporto apenas se este mostrar as características qualitativas de uma cidade: densidade, qualidade de acesso, ambiente e serviços.

Posteriormente, Burghouwt (2010) e Van Tol (2010) apresentam uma visão económica do conceito, definindo-a simplesmente como o agrupamento de funções económicas no aeroporto e em torno deste.

Do ponto de vista dos operadores aeroportuários, a cidade-aeroporto é vista como uma estratégia de negócio e uma ferramenta de marketing, com o objectivo de usufruir das oportunidades de negócios

criadas pelas suas próprias operações, atraindo assim empresas para o território do aeroporto e seus arredores: os operadores não só proporcionam *slots* e facilitam o tráfego aéreo, como também incluem uma maior ou menor variedade de serviços comerciais e imobiliários (Kreutel, 2010; van Wijk, 2010).

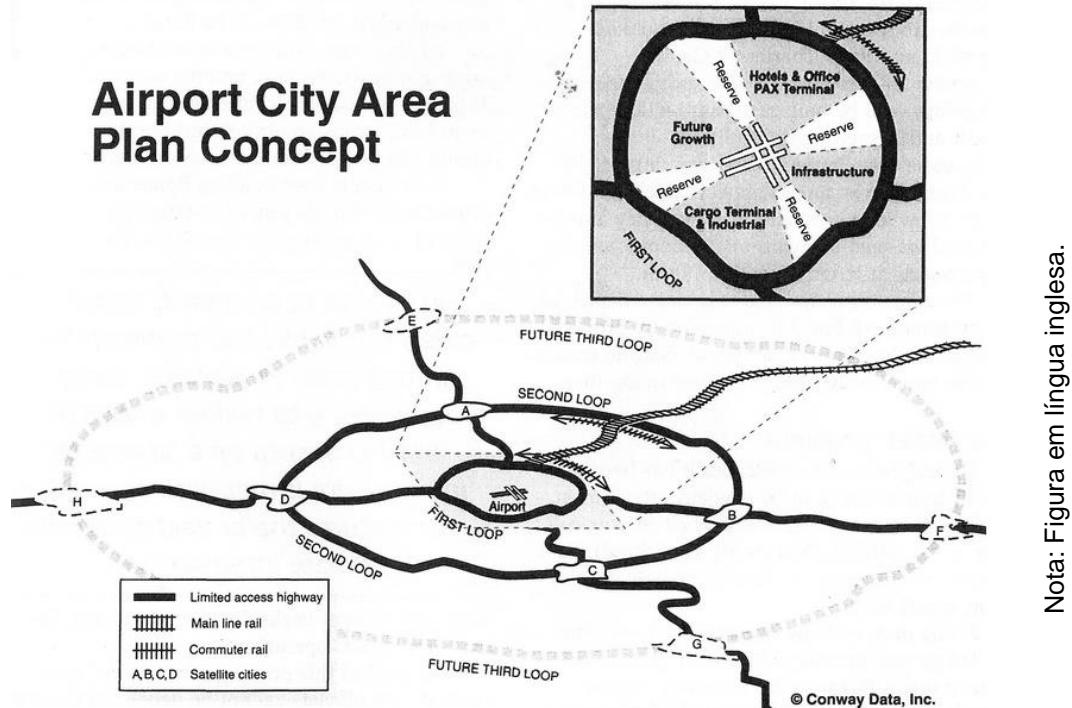
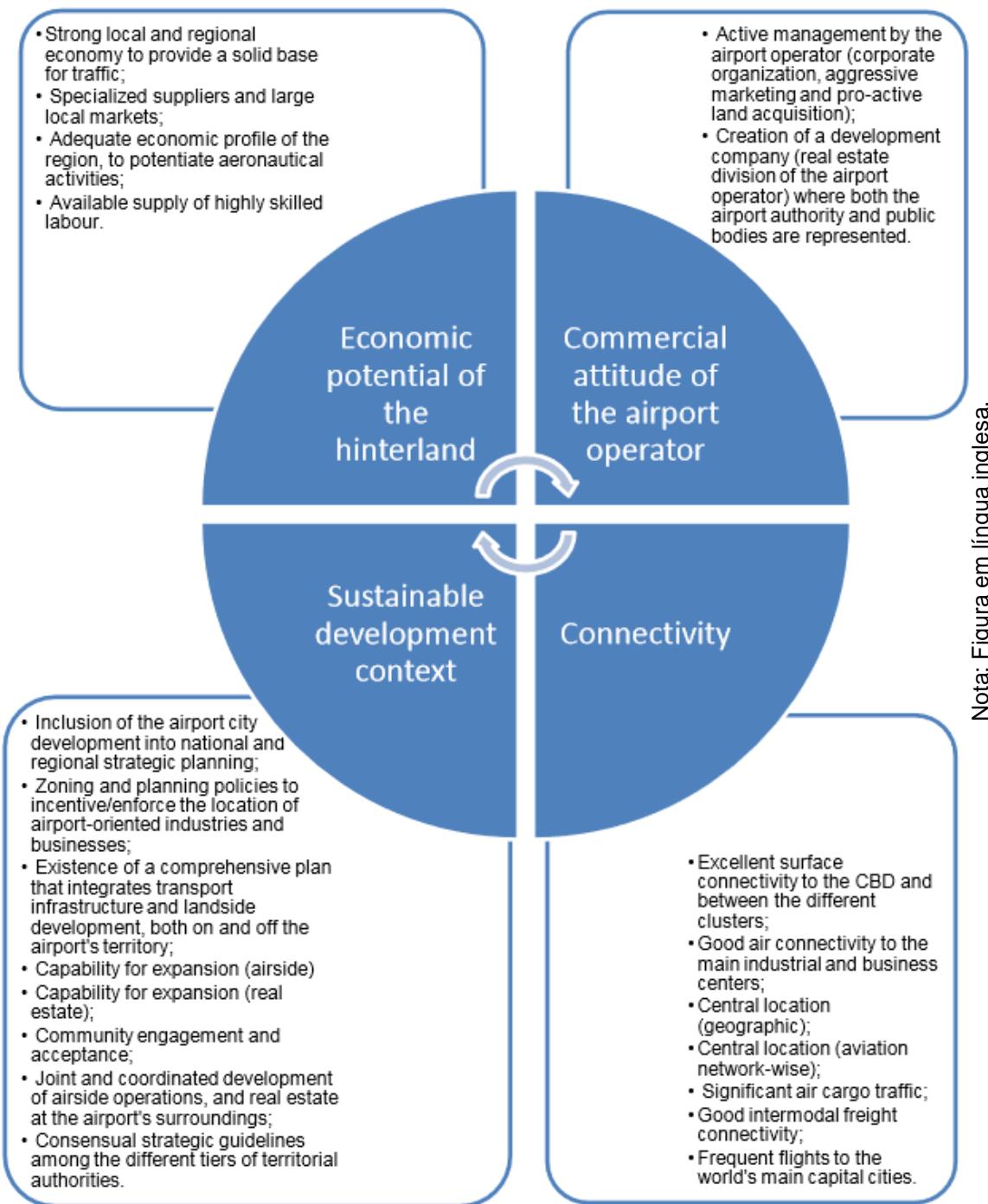


Figura 3 - Plano do Conceito de Cidade-Aeroporto. Fonte: Conway, 1980.

Uma vez que o propósito da dissertação não se trata da discussão da validade das diversas definições atribuídas ao conceito, recorreu-se à definição proposta por Peneda (2010). O autor faz uma extensa análise para a determinação dos principais factores críticos ao desenvolvimento de cidades-aeroporto. No seu estudo, efectua inquéritos a uma série de conceituados investigadores e profissionais na área, através dos quais foi possível obter, segundo o autor, os principais quatro macro-factores para o desenvolvimento do conceito, sendo estes: Conectividade do aeroporto; Potencial económico do *hinterland*; Contexto de desenvolvimento sustentável; e, Atitude comercial do operador do aeroporto/Pró-actividade do mercado. Apresenta-se na Figura 4 a composição de cada um destes factores.



Nota: Figura em língua inglesa.

Figura 4 - Principais factores críticos ao desenvolvimento de Cidade-Aeroporto. Fonte: Peneda, 2010.

1.2. Objectivo

Esta dissertação parte do conceito cidade-aeroporto, que segundo Peneda (2010) depende de quatro factores críticos ao seu desenvolvimento, como descrito anteriormente:

- Conectividade do aeroporto;
- Potencial económico do *hinterland*;
- Atitude comercial do operador do aeroporto;
- Contexto de desenvolvimento sustentável.

Uma vez que a conectividade é um factor essencial ao desenvolvimento, este será o parâmetro avaliado ao longo da dissertação. Entende-se por conectividade a existência de ligação ou conexão entre nós de uma rede, neste caso, aeroportos. O nível de conectividade pode ser avaliado tanto em termos de acessibilidade ou perspectiva de conectividade directa/indirecta, como de centralidade ou perspectiva de conectividade do *hub* (Burghouwt e Redondi, 2013), tal como se pode observar na Figura 5. Nesta dissertação, a conectividade será avaliada em termos de centralidade para cada um dos aeroportos em estudo, estimando a capacidade de promoção de conexões indirectas entre diferentes origens e destinos. Este tipo de avaliação pode depender de dois factores, do número de conexões/transferências no *hub* ou da qualidade individual de cada conexão indirecta. No estudo serão tidos em conta os dois factores, embora no primeiro caso a análise seja um pouco mais directa que no segundo, uma vez que apenas é necessário estimar o número de conexões possíveis, mediante determinadas condições. O desafio encontra-se pois na escolha de uma metodologia adequada à apreciação da centralidade para cada um dos aeroportos, sendo para tal necessário executar uma revisão de literatura das metodologias de avaliação de conectividade existentes.

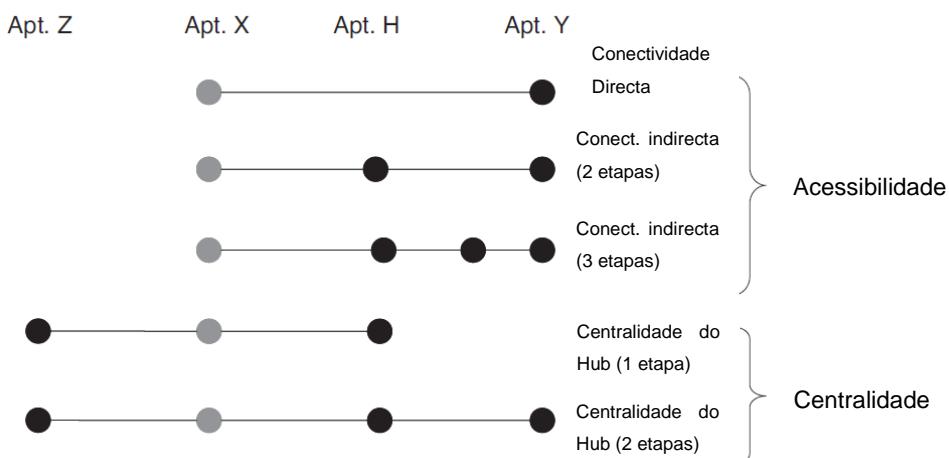


Figura 5 - Tipos de conectividade no Aeroporto X. Fonte: Burghouwt e Redondi, 2013.

Como referido anteriormente, a gradual evolução e transformação de um aeroporto, enquanto cidade-aeroporto, implica a satisfação de um conjunto de requisitos. O objectivo desta dissertação é analisar o posicionamento do aeroporto de Lisboa nesse processo evolutivo relativamente a uma propriedade específica: a conectividade. De modo a cumprir este objectivo foi analisada e comparada a conectividade do aeroporto de Lisboa com um conjunto de outros aeroportos referenciados como cidades-aeroporto. Desta forma, foi possível concluir em termos de conectividade, qual o distanciamento entre o caso de estudo e os restantes aeroportos e determinar as possibilidades que o aeroporto terá de vir a tornar-se uma cidade-aeroporto.

1.3. Metodologia

A parte inicial da dissertação, dedicada ao estado da arte, englobou diferentes aspectos, salientando-se a teoria das redes, a sua aplicação ao transporte aéreo e o conceito de conectividade. Para tal, foi necessária a recolha de literatura para cada um dos aspectos a ter em conta, recorrendo-se sobretudo a livros e artigos de autores em cada uma das áreas. Outro ponto relevante do estado da arte foi uma revisão às metodologias de avaliação de conectividade existentes, considerando-se como base uma variedade de referências, retiradas de artigos científicos publicados em revistas reconhecidas.

A avaliação do caso de estudo foi desenvolvida com base numa ferramenta proposta por Burghouwt e de Wit (2005). A ferramenta procura estabelecer combinações de pares de origem e destino com transferência em cada um dos aeroportos a estudar, mediante determinadas condições, e posteriormente calcular os parâmetros envolvidos na obtenção da qualidade de cada conexão. Foram ainda realizadas algumas alterações à metodologia original, suportando-se estas não só em análises realizadas no momento de aplicação, mas também em outros autores de renome. Estas alterações relacionam-se com a modificação das designações atribuídas ao tipo de conexão, por forma ao estabelecimento de intervalos de tempo de transferência, e a definição de condições de exclusão no caso de rotas que não farão sentido efectuar. Depois de todos os dados recolhidos, através de uma base de dados, o método foi aplicado recorrendo a uma linguagem de programação, *Visual Basic for Applications*, devido ao elevado volume de dados e procurando ainda agilizar a operação. Os dados comparados entre os diversos aeroportos estudados foram sobretudo dados estatísticos.

A análise de resultados entre aeroportos foi realizada comparando os dados estatísticos obtidos e utilizando também alguns dados operacionais disponíveis. As conclusões basearam-se nos resultados decorrentes da aplicação da metodologia.

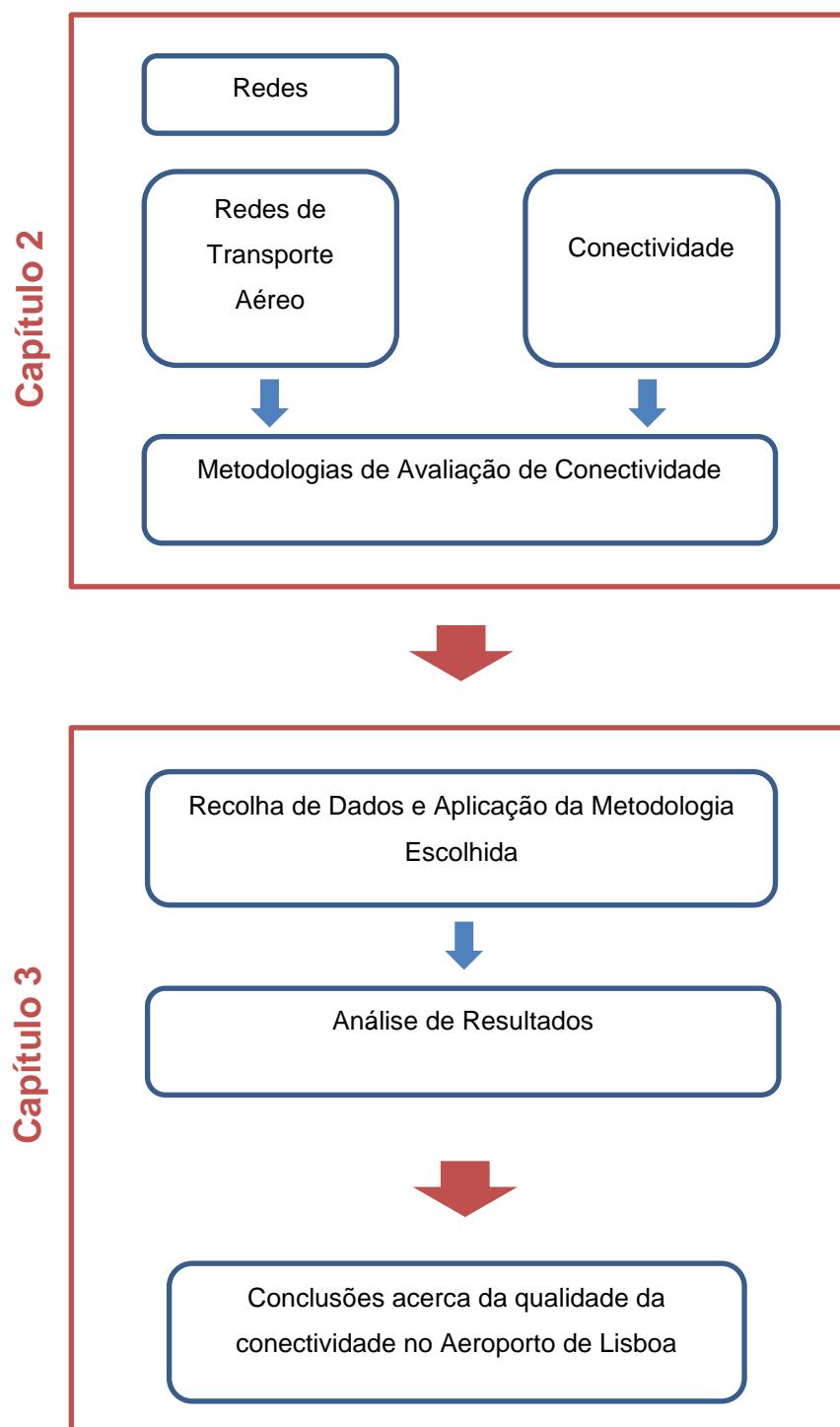


Figura 6 - Metodologia da dissertação.

1.4. Estrutura da Dissertação

Esta dissertação de mestrado encontra-se dividida em duas partes principais, correspondendo a primeira ao capítulo 2 e a segunda ao capítulo 3.

O capítulo 2 contém a literatura na área das redes, onde se faz uma síntese histórica abordando-se os principais modelos de redes existentes e fazendo ainda referência à ciência das redes, isto é, o sentido em que este campo de estudo tem evoluído. Neste capítulo, aprofunda-se ainda o mesmo tema no contexto das redes de transporte, referindo-se a aplicação da teoria das redes ao mundo real, em particular ao transporte aéreo. O conceito de conectividade, que depende directamente do estudo das redes, é ainda desenvolvido dentro do capítulo 2, particularmente a conectividade aérea. É ainda feita uma revisão de literatura das metodologias de avaliação da conectividade já desenvolvidas, concluindo-se com uma comparação entre cada uma das métricas.

O capítulo 3 contém uma explicação da aplicação da metodologia escolhida e dados de entrada tidos em conta. É ainda feita referência às ferramentas usadas e processo de cálculo utilizado. No mesmo capítulo são mostrados os resultados obtidos e são apresentadas diversas análises, comparando diferentes parâmetros estatísticos e operacionais. Deste modo, foram obtidas conclusões que permitem caracterizar o Aeroporto de Lisboa.

Existe ainda um capítulo final, 4, dedicado às conclusões da dissertação. Neste mesmo capítulo são também apresentadas sugestões para futuros desenvolvimentos na área estudada.

2. Estado da arte

A revisão de literatura no âmbito desta dissertação tem por base três partes fundamentais: o estudo das redes, em particular as redes de transporte aéreo; o conceito de conectividade; e, a identificação das metodologias de avaliação da conectividade existentes e respectiva descrição e comparação.

2.1. Redes

Actualmente, assume-se como sendo um dado adquirido que nada acontece de forma isolada, sendo que a maioria dos eventos e fenómenos se encontram conectados (Barabási, 2002). As redes têm vindo a desenvolver-se sob variadíssimas formas.

Ao longo do tempo, o conceito de redes vem sendo associado à ideia de complexidade, pelo facto de se ter mais conhecimento acerca das partes do que do conjunto ou natureza da rede como um todo (Barabási, 2002). Nos últimos anos, grupos compostos por cientistas de diversos campos, tais como, matemáticos, físicos, sociólogos, biólogos, entre outros, têm tentado responder a questões em torno do conceito de redes e têm feito progressos na pesquisa acerca da teoria das redes ou “ciência das redes”. Decorrente destes estudos tem-se vindo, sobretudo, a identificar visíveis semelhanças entre sistemas aparentemente muito diversos entre si (e.g. economia, sociedade, cérebro humano, telefone ou internet) (Barabási, 2002). Prevê-se assim, que no futuro, as redes venham a ser progressivamente mais relevantes.

2.1.1. Desenvolvimentos Históricos na área das redes e respectivos modelos

A teoria dos grafos surgiu na sequência da resolução do problema das sete pontes de Königsberg, por Leonhard Euler em 1736 (Newman et al., 2006). Königsberg é uma cidade russa cortada por um rio, levando à formação de duas ilhas, ligadas entre si e às margens através de 7 pontes. O problema consistia na determinação de uma solução que permitisse a um indivíduo atravessar todas as pontes, passando uma só vez por cada uma delas. Euler, através do desenho de um grafo, concluiu que não existe caminho que respeite estas condições. Verifica ainda que a existência de um caminho não depende da qualidade do nosso raciocínio, mas sim das propriedades intrínsecas do grafo em estudo (Barabási, 2002).

Um grafo pode ser definido como uma estrutura constituída por dois conjuntos, sendo um dos conjuntos composto por pontos, vértices ou nós e, outro, composto por linhas, arestas, ramos, caminhos ou arcos (Christofides, 1975), encontrando-se exemplificado na Figura 7. As linhas estabelecem ligações entre os vértices, representando também determinadas relações entre estes. Entende-se por grau de um vértice o número de ligações que o vértice tem ou o número de vértices adjacentes a este, a que se dá o nome de vizinhança (Hartmann e Weigt, 2005). Os grafos são geralmente representados através de desenhos ou através de matrizes, sobretudo no que diz respeito a representações a nível computacional (Frank e Fisch, 1971). Segundo Barabási (2002, p.16), *qualquer que seja a identidade e a natureza dos nós e ligações, para um matemático estes formam sempre a mesma entidade: um grafo ou uma rede.*

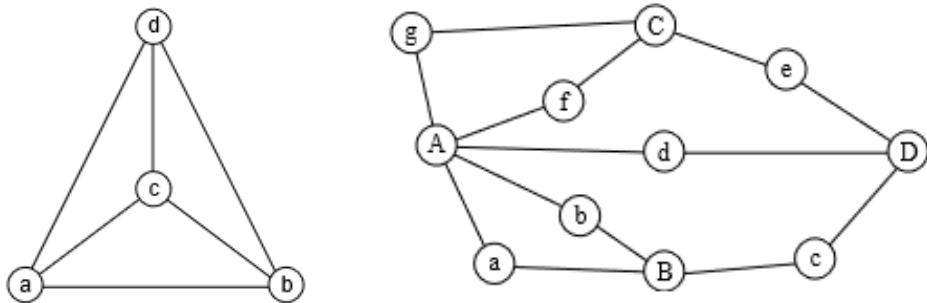


Figura 7 - Exemplos de grafos. Os círculos correspondem a nós e as linhas a ligações.
Fonte: Hartmann and Weigt, 2005.

Em 1929, Karinthy publicou “Chain-Links”, uma pequena história de ficção, não apresentando quaisquer pretensões de rigor científico, mas descrevendo uma das verdades fundamentais sobre redes e sugerindo respostas a um dos mais profundos problemas existentes na teoria das redes. Karinthy sugere que o mundo se tem tornado cada vez menor, não em termos físicos, mas sim em termos sociais. O conceito descrito é hoje conhecido como *small-world effect* ou *six degrees of separation* e tem conduzido a pesquisas científicas até às últimas décadas (Newman et al., 2006). Segundo Karinthy (1929), no âmbito de redes sociais, ninguém precisava de mais de cinco ligações na cadeia para alcançar, apenas usando o método do conhecimento, qualquer habitante do nosso planeta.

Mais tarde, na década de 50, Rapoport trabalhou principalmente na área que hoje chamamos de sistemas complexos, encontrando-se décadas avançado no seu tempo, focando-se nas propriedades, importância e nos parâmetros estatísticos gerais da rede, ao invés do estudo das propriedades particulares dos nós e ligações (Newman et al., 2006). O conceito de *random graph* surgiu através dum artigo publicado em 1951 por Rapoport e Ray Solomonoff. Além do novo conceito introduzido, o artigo demonstra uma das mais importantes propriedades do modelo, sendo que quando a razão entre o número de arestas e vértices do grafo é aumentada, a rede acaba por sofrer uma mudança brusca, alterando-se de um conjunto de vértices desconectados para um estado ligado, a que se dá o nome de *giant component* (Newman et al., 2006).

Até às décadas de 50 e 60, duas questões essenciais no âmbito das redes ou grafos permaneciam por responder, quanto à formação de redes reais e relativamente às leis que regem o seu aspecto e estrutura. Estas questões acabariam por ser respondidas por dois matemáticos húngaros, Paul Erdős e Alfréd Rényi, considerados os pais da teoria moderna de *random graphs*, Figura 8 - a), revolucionando a teoria dos grafos (Barabási, 2002). Erdős e Rényi (1960) lidam com a evolução da estrutura de grafos aleatórios à medida que o grau médio é aumentado. Nesse estudo, os autores mostram que, quando ligações são adicionadas ao grafo aleatório, vão surgindo novas propriedades, não de forma gradual, mas sim de forma repentina (Newman et al., 2006).

Simultaneamente, Pool e Kochen aprofundaram o seu estudo no campo das redes sociais, procurando responder a questões relacionadas com o número de contactos sociais que as pessoas possuem. Contudo, encontraram dois problemas fundamentais: a ambiguidade na definição exacta do que significa um contacto social e a dificuldade das pessoas estimarem o número dos seus contactos com rigor (Newman et al., 2006). Por forma a contornar estas dificuldades, os autores procuraram recorrer a modelos matemáticos através de *random graphs*. Ao longo do artigo foi analisado pela primeira vez em termos científicos o fenómeno *small-world effect*, já anteriormente referenciado por Karinthy (1929). Foram tidos em conta aspectos tais como, a estratificação social e grupos comunitários, podendo estes afectar os resultados, embora após a realização de análises cuidadosas se tenha verificado que a faixa social tem apenas um pequeno efeito na média de distância entre entidades sociais (Newman et al., 2006).

Milgram em conjunto com Travers, inspirado pelos autores acima referidos, desenvolveram trabalhos experimentais no âmbito das redes sociais do tipo *small-world*, Figura 8 – b), sendo o mais conhecido o estudo que avalia a “distância” entre quaisquer dois indivíduos nos EUA (Barabási, 2002). O número de conhecimentos intermédios entre o indivíduo-fonte e o alvo variou entre 1 e 11, sendo a mediana de 5,2 (Newman et al., 2006) ou 5,5 (Barabási, 2002), significando a existência de seis etapas ao longo da cadeia. Esta conclusão viria mais tarde a originar a expressão “*six degrees of separation*”, sendo esta, na verdade, um mito, uma vez que se refere a uma escala mundial, não correspondendo à experiência de Milgram, que se destinou apenas a um universo menor, os EUA (Newman et al., 2006).

O conceito de redes *scale-free*, Figura 8 – c), surgiu na sequência da análise da rede de citações de artigos científicos por parte de Price na década de 60. Este tipo de redes, cujo grau de distribuição segue uma lei de potência, pode ocorrer em diferentes casos, tais como a *World Wide Web*, redes sociais, redes biológicas, entre outras (Newman et al., 2006).

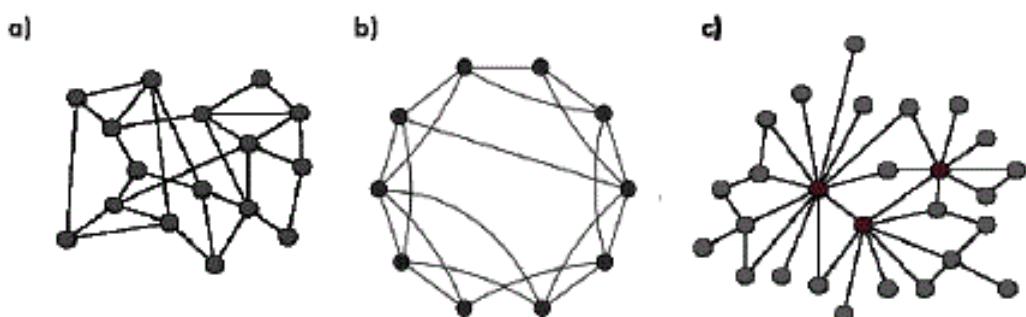


Figura 8 - Exemplos de modelos de redes: a) random, b) small-world, c) scale-free. Fonte: Szabó, 2012.

Quadro 2 - Síntese dos três principais modelos de redes e respectivos autores e propriedades.

Modelo	Autores	Propriedades
Random Graphs	Erdős e Rényi (1960)	<p>O processo de formação da rede caracteriza-se pela ligação dos nós de forma aleatória (Newman et al., 2006).</p> <p>Neste modelo, os nós apresentam aproximadamente o mesmo número de ligações (grau) ou a mesma probabilidade de acolher novas ligações.</p> <p>Quanto maior o número de ligações acrescentadas, maior a probabilidade do aparecimento de clusters (grupos de nós mais coesos) (Recuero 2004).</p> <p>A conectividade segue uma distribuição de Poisson (Newman et al., 2006).</p>
Small-world	Watts e Strogatz (1998)	<p>A generalidade dos pares de vértices encontram-se conectados por um curto caminho através da rede (Newman et al., 2006; Amaral et al., 2000).</p> <p>O diâmetro da rede, i.e. a distância média mais curta entre dois vértices, cresce logaritmicamente com o número de vértices (Amaral et al., 2000).</p> <p>Apresentam elevado <i>clustering</i>, i.e. existe uma probabilidade elevada que dois vértices venham a ser conectados directamente um ao outro, se estes têm em comum um outro vértice vizinho (Newman et al., 2006).</p>
Scale-free	Barabási e Albert (1999)	<p>A estrutura é dinâmica, uma vez que a rede se apresenta em constante crescimento, evolução e adaptação, com a criação de novos vértices e aumento das ligações entre vértices (Newman et al., 2006).</p> <p>Quanto mais ligações um nó apresenta, maior a hipótese desse nó criar novas ligações - <i>preferential attachment</i>. A este tipo de nós principais dá-se o nome de <i>hubs</i> (Recuero 2004).</p> <p>Apresenta um número de ligações por nó ou grau muito reduzido, sendo que apenas alguns nós apresentam elevada conectividade - <i>hubs</i>, exibindo a maioria poucas ligações (Recuero 2004).</p>

2.1.2. Nova Ciência das Redes

A área das redes tem sofrido constantes evoluções e desenvolvimentos. A tradicional teoria dos grafos apresenta-se mais direcionada para problemas de design e de engenharia. Os trabalhos mais recentes no campo têm-se focado em redes que surgem de forma natural, caracterizando-se tipicamente pela ausência de planeamento e descentralização, a que se dá o nome de redes *real*-

world. Exemplos deste tipo de redes são as redes sociais e biológicas ou redes de informação, como a *World Wide Web* ou as de citações científicas. Por outro lado, redes que têm como propósito servir a população (e.g. redes de comunicação, transporte e fornecimento de energia), uma vez construídas e ampliadas num longo período de tempo por diferentes agentes, são também consideradas pertencentes à mesma categoria das anteriormente referidas (Newman et al., 2006). Conclui-se assim que a teoria dos grafos se enquadra numa visão mais teórica das redes.

No passado, as redes tendiam a ser abordadas como estruturas estáticas, mas estudos recentes têm reconhecido que as redes evoluem ao longo do tempo, sendo um produto do dinamismo de adição e remoção de vértices ou ligações (Barabási e Albert, 1999; Watts 1999). No que diz respeito a processos que operam a nível local, tem-se observado que tanto constrangem, como são constrangidos pela estrutura da rede, isto é, tem-se vindo a compreender que os processos dinâmicos a nível local têm influência na estrutura global ou conectividade global da rede (Newman et al., 2006).

Os estudos tradicionais têm também tendido para a simplificação das relações entre as propriedades estruturais do sistema em rede e o seu comportamento. Enquanto, por outro lado, os estudos mais recentes analisam as redes como sistemas dinâmicos, onde os vértices do grafo representam entidades dinâmicas discretas, com as suas próprias leis de comportamento, e as ligações representam uniões entre as entidades (Newman et al., 2006).

2.2. Redes de Transporte

As redes de transportes têm como propósito o transporte de bens ou passageiros ou a transmissão de informação (Teodorovic, 1986). A sua estrutura não é, de um modo geral, difícil de determinar, contudo, a compilação de todos os dados necessários pode ser uma tarefa extremamente exaustiva. Representações de redes de tráfego aéreo podem ser construídas através de horários publicados, enquanto redes ferroviárias e rodoviárias podem ser elaboradas com o auxílio de mapas. Alguns softwares de informação geográfica (GIS) podem ser úteis para facilitar a compilação de dados de transportes, sendo que existe também uma variedade de recursos online que fornece informação (Newman, 2010).

Recentemente, vários autores têm produzido estudos aplicando novas análises a redes rodoviárias, ferroviárias e aéreas. Na maioria das redes estudadas, usando a teoria dos grafos, os vértices representam localizações geográficas e as ligações rotas entre estas (Newman, 2010). Dependendo da área de transporte envolvida, os nós podem representar cidades, cruzamentos de estradas, aeroportos, estações ferroviárias, estações rodoviárias, cais, terminais de carga, entre outros, enquanto as ligações podem representar estradas, ruas, rotas aéreas, ferrovias ou vias navegáveis (Teodorovic, 1986).

2.2.1. A Teoria das Redes aplicada ao mundo real – o caso do transporte aéreo

De modo a entender que tipo de modelos se aplicam às redes de transporte, em particular transporte aéreo, é necessário recuar um pouco e analisar os desenvolvimentos mais recentes na área. Actualmente, tanto o modelo de *random graphs*, como o modelo de redes regulares, não são considerados adequados ao correcto estudo dos sistemas complexos de *real-world*, tais como as redes de transporte. As redes presentes no mundo real são caracterizadas por alguma desordem, em particular as do tipo *small-world*. Assumindo p , a probabilidade de religação entre vértices, consideram-se os limites definidos por *random graphs* com $p=1$ e redes regulares com $p=0$ (Newman et al., 2006). As redes *small-world* resultam da substituição aleatória de ligações entre os dois casos limites, apresentando um valor p intermédio entre 0 e 1. Exibem ainda elevado *clustering*, como um gráfico regular, mas com pequeno comprimento do caminho característico, como um grafo aleatório (Amaral et al., 2000). Este processo de religação aleatório é possível ser observado na Figura 9.

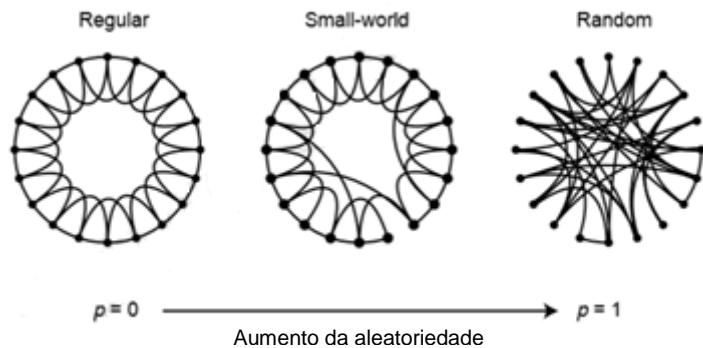


Figura 9 - Processo de religação aleatória para interpolação entre uma rede em forma de anel regular e uma rede aleatória, sem alterar o número de vértices ou arestas do grafo. Fonte: Watts e Strogatz, 1998.

Estudos recentes têm demonstrado que as redes do tipo *scale-free* são também *small-world*, uma vez que possuem coeficientes de *clustering* muito superiores aos de redes aleatórias e o seu diâmetro aumenta logaritmicamente com o número de vértices (Barabási e Albert, 1999; Watts 1999). Amaral et al. (2000) apresentaram evidências da existência de três classes de redes *small-world*: redes *scale-free*; redes *broad-scale*; e, redes *single-scale* (Amaral et al., 2000).

Amaral et al. (2000) consideraram o exemplo da rede de aeroportos mundiais, sendo que os vértices correspondem a aeroportos e as ligações a conexões sem-escala, e, considerando como dados o número de passageiros em trânsito e a carga de chegada e partida nos aeroportos. Traçando a distribuição de conectividade constatou-se que não se verificava a presença de um regime de lei de potência mas sim, de uma acentuada queda exponencial, implicando a existência de uma *single-scale*, tal como se pode verificar na Figura 10 (Amaral et al., 2000).

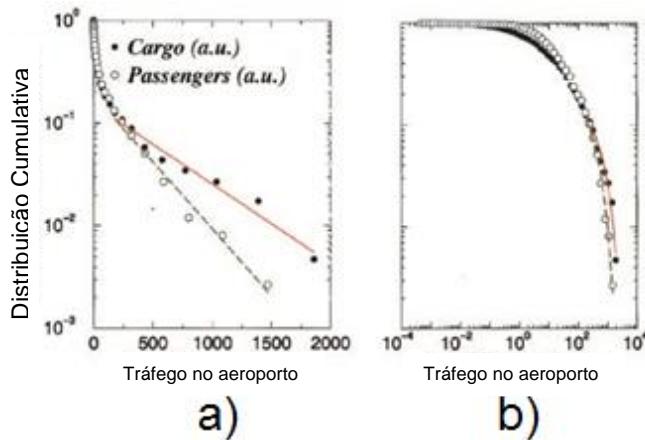


Figura 10 - Gráficos com a distribuição cumulativa logarítmica do tráfego nos maiores aeroportos do mundo, para duas medidas de tráfego linear a) e logarítmica b), carga e número de passageiros.

Fonte: Amaral et al., 2000.

Por outro lado, estudos posteriores têm classificado o transporte aéreo como sistemas *small-world* de classe *scale-free*, tais como as redes Europeia (Guimerà et al., 2005), Indiana (Bagler, 2004), Chinesa (Li e Cai, 2004) e Italiana (Guida e Funaro, 2007). Este tipo de sistemas caracteriza-se pela atracção de novas ligações a nós que apresentem maior conectividade, sendo que, os graus dos aeroportos seguem distribuições de lei de potência (Paleari et al., 2010). Observando a rede aérea mundial, verifica-se que nem sempre as cidades mais centrais, intuitivamente consideradas como mais atractivas em termos de novas ligações, são efectivamente os nós da rede com mais conexões, quer por saturação da capacidade aeroportuária, quer por obstáculos políticos (Guimerà et al., 2005).

2.2.2. Outros Conceitos ligados às redes de transporte

Segundo Milgram (1977), uma das mais importantes características de uma rede é a sua mobilidade, definindo-a como a facilidade de viajar de um nó para outro (Malignetti et al., 2008; Paleari et al., 2010). As medidas da mobilidade baseiam-se no caminho mínimo entre qualquer par de nós. No caso do transporte aéreo o comprimento do caminho mais curto pode ser ponderado através do número de voos necessários, i.e. transferências, da frequência da operação, do número de lugares disponíveis ou da distância geográfica (Paleari et al.; 2010).

Latora e Marchiori (2001) introduziram o conceito de eficiência, medindo o grau com que a informação pode ser permutada de forma eficiente ao longo de uma rede, nomeadamente no transporte aéreo, o conceito é representado pela distância extra envolvida no caminho mais curto entre dois aeroportos comparando com a distância directa. Assim, a eficiência assume o valor 1 apenas quando cada nó se encontra conectado a todos os outros (Paleari et al., 2010). Mostrando os autores em questão que as redes do tipo *small-world* são altamente eficientes. Pode concluir-se que uma rede é eficiente quando as viagens dentro desta são igualmente fáceis em qualquer direcção, independentemente dos custos totais ou unitários (Paleari et al., 2010), o que pode ser considerado uma limitação. Li e Cai (2004) obtiveram no seu estudo uma eficiência de 0,484 para a rede aérea chinesa em análise, embora, neste caso, a eficiência do transporte tenha sido avaliada em termos económicos e de rapidez, contrariando o conceito acima descrito.

2.3. Conectividade

O comportamento global de uma estrutura depende não só das propriedades de cada um dos elementos que a compõem, mas também da localização de cada uma dessas entidades. Entende-se por conectividade a forma como os membros do sistema se interrelacionam e a forma como se encontram organizados, isto é, a topologia da estrutura.

Uma vez que o objectivo da dissertação se trata da avaliação da conectividade de determinados aeroportos, neste estudo será tida apenas em conta a conectividade ar-ar ou aérea, que se prende essencialmente com a facilidade de conexão entre aeroportos. Contudo a conectividade terra-ar/terra ou terrestre, que envolve a avaliação da intermodalidade presente nos terminais aeroportuários, isto é, a ligação a outros meios de transporte existentes, é também um factor importante na avaliação da conectividade aeroportuária.

A conectividade aérea pode ser dividida em dois tipos: directa e indirecta. Entende-se por conectividade directa a deslocação de um nó para outro sem interrupções, considerando-se uma viagem directa sem transferências. Por outro lado, conectividade indirecta é aquela que necessita de transbordo ou transferência. A conectividade indirecta é frequentemente associada, em termos aéreos, ao conceito de *hub*, onde passageiros provenientes de aeroportos secundários podem ser transportados para destinos intercontinentais ou aeroportos primários (Malighetti et al., 2008). Deste modo, *hubs* são nós peculiares de uma rede, localizados de modo a facilitar a conectividade entre locais de interacção (O'Kelly, 1998). Os *hubs* actuam como pontos de transferência e possuem um papel de amplificação da potencialidade da rede, oferecendo uma vasta variedade de destinos.

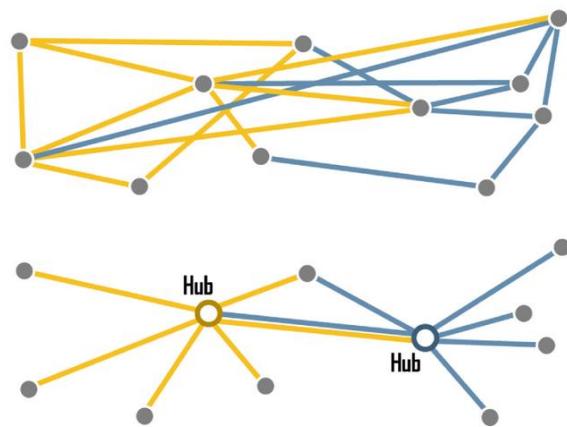


Figura 11 - Representações da rede de transporte aéreo, sendo a primeira do tipo *point-to-point* e a segunda do tipo *hub-and-spoke*. Fonte: Rodrigue, 2013.

A definição de rede *hub-and-spoke* é bastante variável de autor para autor, mas é evidente, segundo diversos investigadores (Song and Ma, 2006; Burghouwt e Huys, 2003; Reynolds-Feighan, 2001;

Wojahn, 2001; Kanafani and Ghobrial, 1985), a existência de duas características essenciais presentes neste tipo de redes: a concentração espacial e a concentração temporal.

Relativamente à concentração espacial, neste modelo de rede dá-se uma substituição crescente de voos directos entre aeroportos de dimensão média, rede do tipo *point-to-point*, por uma quantidade substancialmente maior de voos indirectos através de *hubs*, pertencentes a companhias aéreas (O'Kelly and Miller, 1994). Na Figura 11, é possível comparar os dois tipos de redes, *point-to-point* e *hub-and-spoke*. Uma série de cidades são escolhidas como pontos de recolha e distribuição de fluxos de passageiros e/ou carga. Essa transferência de fluxos dá-se até que estes sejam encaminhados para os seus destinos finais (Berry et al., 1996). Este modelo de rede é, fundamentalmente, uma estratégia orientada para o fornecedor, maximizando as conexões disponíveis para uma determinada companhia aérea no aeroporto, *hub* (Song and Ma, 2006).

No que diz respeito à concentração temporal, esta pode ser entendida como uma operação sincronizada de ondas de voos através de *hubs* (Burghouwt, 2007; Reynolds-Feighan, 2001). Uma onda é composta por um conjunto de voos de entrada e saída, organizados de modo a que todos os voos de entrada permitam a conexão à totalidade dos voos de saída (Bootsma, 1997). Este tipo de estrutura possibilita que os passageiros possam mudar de voo dentro de uma apertada janela de tempo, oferecendo assim maior possibilidade de escolha e permitindo tarifas mais reduzidas, contudo originando períodos de elevada concentração de tráfego (Button, 2002).

Segundo Dempsey e Gesell (1997), outras propriedades podem ser identificadas numa rede, tais como, dimensão (nodalidade), tipo de transportadora que opera a rede (*low-cost* ou *full service*), distância média de voo, quota de mercado, tipo de equipamento usado, modelo de negócio, entre outras.

Na literatura têm sido consideradas como principais vantagens para os consumidores do sistema *hub-and-spoke*, a disseminação de redução das tarifas médias, acompanhadas pelo crescimento de cidades servidas, e o aumento das frequências de voos (Peneda, 2010). No que concerne à envolvente, onde os *hubs* se inserem, é evidente que se dá um acréscimo de benefícios de carácter económico local e regional (Song and Ma, 2006), tais como, a criação de emprego e localização e crescimento de indústria. Peneda (2010) conclui, que em termos de desvantagens, o desenvolvimento de *hubs* implica o aparecimento de problemas de congestionamento, devido às ondas de voos, propagação de atrasos e o crescimento de barreiras à entrada no mercado. Para além destes aspectos, a concentração de tráfego em alguns aeroportos acarreta problemas a nível ambiental para as regiões em questão (Button e Lall, 1999).

Este tipo de abordagem manifestou-se na Europa antes mesmo da desregulação do tráfego aéreo, uma vez que o antigo regime de acordos bilaterais, ASAs (*Air Service Agreements*), já tinha levado ao desenvolvimento de *hubs* (Peneda, 2010). Por outro lado, no contexto dos EUA, a predominância de estruturas *point-to-point* antes da desregulação, foi sendo substituída por redes *hub-and-spoke*, por todas as companhias aéreas, sendo este um dos efeitos da desregulação (Peneda, 2010).

As companhias aéreas consideram os *hubs* fundamentais por dois motivos. Esta topologia funciona como vantagem competitiva em relação à entrada de companhias *low-cost* e favorece ainda a manutenção dos voos de longo curso, para o qual a procura é mais dispersa espacialmente (Dennis, 2005).

2.4. Metodologias de Avaliação de Conectividade Aérea

As medidas de avaliação da conectividade, tanto a nível directo como indirecto, calculam o desempenho das redes aéreas, aeroportos e regiões, medindo a facilidade de conexão entre diferentes pontos (Burghouwt e Veldhuis, 2006; IATA, 2000; Malighetti et al., 2008; Matsumoto et al., 2008; Veldhuis e Kroes, 2002). Os resultados da avaliação da conectividade podem contribuir para fornecer informação necessária, de modo a estabelecer estratégias de melhoria da posição competitiva dos aeroportos. Estes resultados permitem também que decisores políticos, aeroportos e companhias aéreas monitorizem o desempenho da rede, ao longo do tempo, contribuindo para a sua manutenção ou melhoria (Burghouwt e Veldhuis, 2006; IATA, 2000; Matsumoto et al., 2008; Veldhuis e Kroes, 2002), sendo usados frequentemente como dados para planos estratégicos de aeroportos e companhias aéreas.

Relacionando os resultados com as escolhas por parte dos passageiros, para além do preço do bilhete, estas medidas podem ser uma variável importante, podendo a conectividade também ser incluída em previsões e modelos de impacto económico (Irwin e Kasarda, 1991; Ivy et al., 1995).

Estudos académicos têm produzido uma grande variedade de medidas de avaliação da conectividade, alguns deles baseados na topologia de redes e na teoria de redes complexas (Conrath et al., 2008; Guimèra et al., 2005; Paleari et al., 2010), outros têm por base a natureza operacional de redes *hub-and-spoke* (Bootsma, 1997; Burghouwt e de Wit, 2005; Danesi, 2006; Dennis, 1998; Veldhuis, 1997) e outros ainda assentam-se em pesquisas científicas na área social (Budde et al., 2008).

Constatou-se a inexistência de literatura que identifique a metodologia mais adequada a aplicar, para tal procurou-se rever as metodologias existentes, analisando os dados de entrada e saída, características dos métodos e vantagens e limitações à sua aplicação ao caso específico de estudo. Esta análise apoiou-se no estudo de Burghouwt e Redondi (2013), que executou uma revisão de literatura global em termos de medidas de avaliação da conectividade, no campo do transporte aéreo, suas características e desempenho empírico. Deste modo, procurou-se facilitar a tarefa de escolha da medida mais adequada, de acordo com os objectivos pretendidos e dados disponíveis.

Entende-se por medidas tradicionais, a frequência, a capacidade e número de destinos. Os autores Burghouwt e Redondi (2013), fazem uma análise comparativa entre estes indicadores ditos tradicionais e os modelos usados na literatura académica. Desta análise, concluem que os modelos tradicionais tendem a sobreestimar a importância dos aeroportos como *hubs* de ligação e, por outro lado, subestimar a acessibilidade disponível para o consumidor num determinado aeroporto

(Burghouwt e Redondi, 2013). Por este motivo, no presente estudo não serão tidos em conta modelos do tipo tradicionais.

2.4.1. Dimensões

Os autores Burghouwt e Redondi (2013) associam às medidas de avaliação uma série de dimensões, as quais importa referir, uma vez que serão consideradas na descrição de cada medida. Entre estas encontram-se a distinção entre acessibilidade e centralidade, a coordenação temporal, o factor de *routing*, a qualidade da conexão, o número máximo de etapas permitido e, ainda, a diferenciação entre modelos globais e locais.

O termo acessibilidade pode ser entendido como o número e qualidade das conexões disponíveis directas e indirectas em viagens aéreas. Este conceito pode também ser chamado de conectividade directa/indirecta. Em oposição, o conceito de centralidade dá indicação acerca do número de opções de transferência disponíveis via um aeroporto específico, relacionando-se assim esta perspectiva com o nível de conectividade de um *hub*. Estes conceitos encontram-se representados na Figura 5. Segundo Burghouwt e Redondi (2013), na literatura disponível, ambas as perspectivas podem ser aplicadas à maioria das medidas de conectividade. É também sabido que os estudos empíricos se baseiam sobretudo na perspectiva de centralidade, de forma a avaliar o desempenho em *hubs* (Bootsma, 1997; Budde et al., 2008; Burghouwt e de Wit, 2005; Dennis, 1994a, 1994b; Dennis, 1998).

Quanto à coordenação temporal, apenas faz sentido analisar-se este parâmetro quando se fala em ligações indirectas, ou seja, usando *hubs* para efectuar a transferência. A escolha da alternativa de viagem por parte dos passageiros depende de variados factores, tais como, o preço do bilhete, o tempo de voo e a frequência. Para além destes factores, a escolha depende também do tempo de espera, em causa quando ocorrem voos indirectos, sendo que os passageiros não pretendem esperar indefinidamente pelo voo seguinte, impondo-se assim em muitos casos um tempo máximo de conexão (Burghouwt e Redondi, 2013). É também necessário ter em consideração que existirá sempre um tempo mínimo de conexão, devido a operações essenciais, tais como, o tempo de manobras das aeronaves, distâncias de caminhada dentro do aeroporto, controlos, manobras de bagagem, entre outras (Burghouwt e Redondi, 2013). Existem medidas de avaliação que apresentam algum tipo de limites mínimos e máximos de qualidade em termos de tempo de transferência, enquanto outros não.

A dimensão relativa ao factor de *routing* corresponde a um rácio entre a distância real de viagem e a distância teórica de um voo directo, que frequentemente varia entre 120 e 150% (Burghouwt e Redondi, 2013).

Relativamente à qualidade da conexão, segundo Burghouwt e Redondi (2013), não são tidos apenas em conta os limiares de coordenação temporal e de factor de *routing*, mas, também, a resistência da relação da conexão individual. De acordo com os mesmos autores, cada medida pode ser classificada como binária, discreta ou contínua. Para a primeira classificação, a mais simples, uma conexão é viável se cumprir o tempo de transferência e os limiares do factor de *routing* (Budde et al.,

2008; Dennis, 1994a e b; Malighetti et al., 2008). A segunda divide as conexões segundo várias categorias (e.g. conexão excelente, boa ou fraca), e é neste caso que menos quantidade de informação é perdida (Bootsma, 1997; Danesi, 2006). A classificação contínua foi aplicada por diversos autores e corresponde aos valores reais de qualidade da conexão (Burghouwt, 2007; Burghouwt e de Wit, 2005; Burghouwt e Veldhuis, 2006; Matsumoto et al., 2008; Veldhuis, 1997; Veldhuis e Kroes, 2002). Com a aplicação deste tipo de indicadores tem sido possível fazer comparações mais justas em termos de qualidade e número de conexões, tanto entre várias conexões dentro do mesmo aeroporto, bem como entre diferentes *hubs* (Burghouwt e Redondi, 2013).

Entende-se por número de etapas o número de voos por viagem, isto é, uma conexão indireta possuirá obrigatoriamente dois ou mais voos, ou seja, uma ou mais transferências. Para mercados de ultra-longo curso ou conexões entre aeroportos de reduzidas dimensões, tanto opções de conexão simples (uma transferência) como duplas (duas transferências) devem ser tidas em consideração (Burghouwt e Redondi, 2013). Por outro lado, em viagens de curta duração as conexões duplas são praticamente desprezáveis, com exceção para viagens entre aeroportos secundários.

Comparando os modelos de conectividade locais com os globais, os primeiros baseiam-se na contagem de cada conexão individual de um determinado aeroporto. Enquanto, os modelos globais fornecem resultados que relacionam a qualidade de uma determinada conexão com todas as outras opções possíveis dentro do mesmo mercado. Em suma, o segundo modelo adiciona uma segunda condição para além da coordenação temporal e factor de *routing*, classificando a conexão como a mais curta ou mais rápida (Burghouwt e Redondi, 2013). Deste modo, este modelo carece de muito mais meios computacionais e de um exaustivo volume de dados, cobrindo uma quantidade significativamente maior de conexões quando comparando com o modelo local.

2.4.2. Revisão de Medidas de Avaliação de Conectividade

De seguida encontram-se descritas as principais medidas de avaliação aplicadas no passado no âmbito do transporte aéreo.

2.4.2.1. WNX – Conectividade Ponderada

Burghouwt e de Wit (2005), em *Temporal configurations of European airline networks*, focam-se na dimensão temporal de redes do tipo *hub-and-spoke*, fornecendo uma análise da alteração dessa dimensão em termos de configurações das redes de companhias aéreas na Europa entre os anos 1990 e 1999.

Como referido anteriormente, as redes do tipo *hub-and-spoke* possuem duas características principais: a concentração espacial e a concentração temporal. Do estudo conclui-se que medidas de concentração espacial não são suficientes para analisar redes *hub-and-spoke* no contexto europeu. Assim, a configuração temporal é um factor a ter em conta.

O artigo tem dois objectivos principais: a descrição da presença de uma estrutura de sistema de ondas e a obtenção do número de ondas num dado *hub* de uma companhia aérea; e, a análise dos efeitos de uma estrutura de sistema de ondas na conectividade indirecta. O primeiro objectivo foi alcançado usando a teoria da estrutura de sistema de ondas desenvolvida por Bootsma (1997). O segundo usando uma metodologia de avaliação da conectividade desenvolvida pelos autores, recorrendo a dados facultados pelo OAG¹, para o período de anos compreendido entre 1990 e 1999.

A metodologia desenvolvida pelos autores, denominada WNX, corresponde ao número total ou ponderado total de conexões indirectas por *hub* de uma companhia aérea. WNX resulta do somatório de WI ou ponderação de cada conexão indirecta. Esta última variável deriva das metodologias de Bootsma (1997) e Veldhuis (1997), combinando o número de frequências directas, os tempos mínimos de conexão e a qualidade da conexão.

$$WNX = \sum WI \quad (2.1)$$

$$WI = \frac{2,4 \times TI + RI}{3,4} \quad (2.2)$$

$$\begin{cases} TI = 1 - \frac{1}{T_j - M_{i,j}} \times T_h, & \text{para } T_h > M \\ TI = 0, & \text{para } T_h \leq M \end{cases} \quad (2.3)$$

$$\begin{cases} RI = 1 - \left(2 \cdot \frac{1}{2} \cdot R - 2 \cdot \frac{1}{2} \right), & \text{para } 1 \leq R \leq 1,4 \\ RI = 0, & \text{para } R > 1,4 \end{cases} \quad (2.4)$$

$$R = \frac{IDT}{DTT} \quad (2.5)$$

Sendo TI o índice de transferência, RI o índice de *routing*, $M_{i,j}$ o tempo mínimo de conexão para a conexão j no aeroporto i , T_j o tempo máximo de conexão para a conexão j , T_h o tempo de transferência no *hub*, IDT o tempo efectivo de voo com conexão indirecta, DTT o tempo estimado de voo directo baseado na distância do grande círculo, e, R, o factor de *routing*. Na equação (2.2), o valor de WI é obtido através de uma média entre as variáveis TI e RI, assumindo que para um passageiro o tempo de transferência vale 2,4 vezes mais que o tempo de voo, embora este rácio possa variar substancialmente consoante o tipo de passageiro (Lijesen, 2002). Deste modo, as variáveis RI e TI são ambas definidas como funções lineares do tempo de voo e tempo de transferência, respectivamente. Quanto ao índice de *routing*, encontra-se estabelecido um limite e caso este limite seja excedido é atribuído a RI o valor zero. O limite é tipicamente 1,25 (Bootsma, 1997), embora os autores de WNX tenham assumido o valor 1,4, contemplando alguma margem para aterragens e descolagens.

¹ Official Airline Guide.

Os autores encontraram diferenças substanciais nas funções desempenhadas por *hubs* distintos. Deste modo, analisaram os valores obtidos dividindo-os segundo oito sub-mercados geográficos para o ano de 1999. Partindo desta distribuição, foi possível dividir os *hubs* em, aproximadamente, quatro categorias: *hubs* globais, *hinterland-hubs* especializados, *hubs* europeus e *hubs* direccionalis ou ampulheta. Os autores concluem ainda que a especialização dos *hubs* se deve também a relações históricas e à proximidade geográfica.

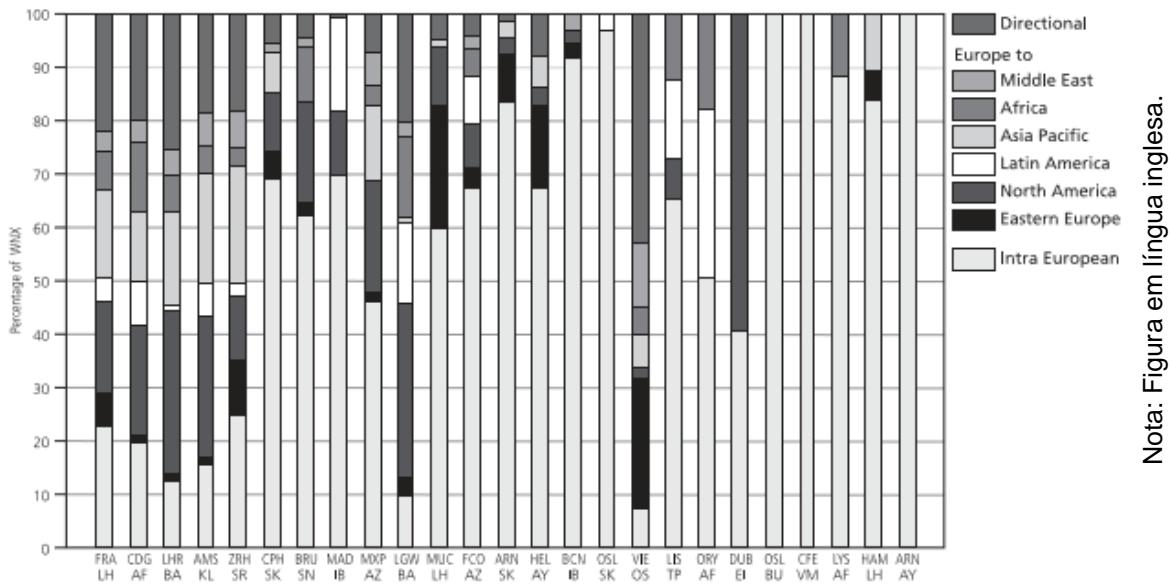


Figura 12 - Distribuição de diferentes sub-mercados geográficos em WNX para os *hubs* Europeus primários. Fonte: OAG.

Relativamente ao impacto das estruturas de sistema de ondas na conectividade indirecta, o estudo determinou que este tipo de estruturas têm por objectivo maximizar o número de oportunidades de conexão dentro de um espaço de tempo limitado dado um número de voos directos. Deste modo, conclui-se que o valor de WNX de um aeroporto é significativamente melhorado quando um sistema de ondas é aplicado.

2.4.2.2. CNU - Netscan

Veldhuis (1997), em *The competitive position of airline networks*, propõe uma nova abordagem de avaliação da conectividade, que possa ser útil na identificação da posição de aeroportos (e companhias aéreas) nos principais mercados dentro da Europa e entre a Europa e outras regiões do mundo. O artigo estrutura-se em duas partes, a primeira focando-se na qualidade e frequência de conexões directas e indirectas, sendo estas variáveis indicativas da conectividade entre mercados, e a segunda introduzindo o novo conceito de matriz de conectividade. Esta matriz é uma representação estatística simples da performance de qualquer aeroporto nos mercados servidos por e via esses aeroportos. A área de estudo compreendia cinco classes de aeroportos (Principais aeroportos da Europa de Oeste; Aeroportos secundários da Europa de Oeste; Aeroportos regionais da mesma área;

Nota: Figura em língua inglesa.

Todos os outros aeroportos da Europa; e, Todos os aeroportos fora da Europa). Todos os dados usados foram recolhidos do ABC World Timetables, para os anos entre 1994 e 1996.

Segundo o autor, muitos passageiros fazem transferência no aeroporto *hub* para os seus destinos finais, mesmo no caso de existirem boas conexões directas. A escolha por parte dos passageiros depende assim da atracidade das alternativas disponíveis. O conceito de atracidade é frequentemente expresso em funções, cujas variáveis podem ser frequências, tempos de viagem, tarifas, entre outras. Algumas variáveis dificilmente se encontram disponíveis e são de árdua mediação. A variável tarifas, altera-se com muita frequência e o seu sistema de informação não se encontra disponível, podendo o autor concluir que esta variável se encontra geralmente dependente do número de concorrentes na rota e das características do produto (e.g. número de transferências, tempo de viagem, entre outras).

Veldhuis (1997) criou então uma unidade indicadora de conectividade, CNU's ou unidades de conectividade, função da frequência (FREQ) e de um índice de qualidade (QUAL)², representando a perda de atracidade devido ao acréscimo de tempo de viagem percepionado (PTT), relativamente ao tempo de viagem sem-paragem (NST). Algumas restrições foram tidas em conta, tais como a inclusão de conexões indirectas que possuíssem tempos de conexão superiores a 45 minutos.

$$CNU = QUAL * FREQ \quad (2.6)$$

$$QUAL = 1 - \frac{PTT - NST}{MAXT - NST} \quad (2.7)$$

$$MAXT = (3 - 0,075 * NST) * NST \quad (2.8)$$

$$PTT = FLY + 3 * TRF \quad (2.9)$$

Onde, MAXT corresponde ao tempo máximo de viagem percepionado, NST o tempo de viagem sem-paragem (obtido através da distância entre origem e destino e assumindo uma determinada velocidade média de voo), PTT o tempo de viagem percepionado, FLY o tempo de voo, TRF o tempo de transferência, QUAL o índice de qualidade, CNU o número de unidades de conectividade, e, FREQ a frequência.

O autor fez uma análise dos dados obtidos, retirando algumas conclusões acerca da performance da conectividade do aeroporto em estudo, *Amsterdam Airport*. Este estudo incidiu sobretudo nos aeroportos da zona Oeste europeia, mas poderá vir a ser aplicado a qualquer outro aeroporto ou região, embora alguma investigação seja necessária de modo a melhorar e desenvolver a metodologia. Segundo Veldhuis (1997), este tipo de análise permite às companhias aéreas e aeroportos identificarem a sua posição no mercado e estabelecerem estratégias alternativas de marketing.

² Assumindo este índice o valor 1, no caso de viagem directa, e por oposição 0, no caso do tempo de viagem percepionado exceder certos limites. Nos restantes casos devem ser realizadas interpolações, usando a equação (2.7).

2.4.2.3. WCn – Número Ponderado de Conectividade

Danesi (2006), em *Measuring airline hub timetable co-ordination and connectivity: definition of a new index and application to a sample of European hubs*, propõe a criação de uma nova medida de coordenação de horários de um *hub* de uma companhia área, aplicando-a a uma amostra de *hubs* europeus. Segundo o autor, esta metodologia é suficientemente rigorosa e de fácil utilização, podendo funcionar como uma ferramenta útil na gestão de companhias aéreas.

O novo índice de Danesi (2006) denomina-se rácio de conectividade ponderado e tenta manter a estrutura objectiva do rácio de conectividade de Doganis e Dennis (1989), introduzindo, por outro lado, um procedimento mais rigoroso na avaliação da conectividade do *hub*.

O autor apresenta uma série de variáveis que em conjunto resultam em duas matrizes fundamentais, *TCM* e *SCM*, correspondendo às matrizes de conectividade temporal e espacial, respectivamente. Os elementos da matriz *TCM* podem assumir três diferentes valores (1;0,5;0), dependendo de determinadas constantes temporais atribuídas segundo o tipo de conexão. Para o caso da matriz espacial *SCM* os seus elementos podem também assumir os mesmos três valores, dependendo do índice de *routing*, DR_k .

$$TCM: \text{elemento genérico} = \tau_{ij} \quad (2.10) \quad e \quad SCM: \text{elemento genérico} = \delta_{ij} \quad (2.11)$$

O rácio ponderado de conectividade, *WCR*, corresponde ao quociente entre o número ponderado de conexões oferecidas pelo *hub* da companhia aérea durante um determinado período (*T*), WN_C , e o número ponderado aproximado de conexões que podem ser esperadas no caso de pura aleatoriedade de horário de partidas e chegadas ao longo de *T*, WN_R .

$$WCR = \frac{WN_C}{WN_R} \quad (2.12)$$

$$WN_C = \sum_i \sum_j \tau_{ij} \delta_{ij} \quad (2.13)$$

Segundo o autor, este procedimento de avaliação da conectividade é bastante preciso e WN_C pode ser por si só uma métrica aceitável de avaliação de conectividade do *hub*.

2.4.2.4. SPL – Short Path Length

Guimerà *et al.* (2005) em *The worldwide air transportation network: Anomalous centrality, community structure, and cities' global roles*, analisam o transporte aéreo do ponto de vista da teoria das redes reais. Com o seu estudo concluem que a rede de transporte aéreo mundial é do tipo *scale-free small-world*, identificando comunidades da rede e procurando demonstrar que a estrutura das comunidades não pode ser explicada somente com base em constrangimentos geográficos, mas é também necessário ter em conta factores geopolíticos.

O principal impulsionador do estudo realizado por Guimerà *et al.* (2005) foi a procura de resposta, relativamente à rede aérea, à questão “Porque não é possível dimensionar um sistema melhor?”. Os autores concluíram que para que seja possível melhorar a rede, é fundamental caracterizá-la adequadamente e identificar os mecanismos responsáveis pela sua evolução. Muita investigação tem sido concretizada na área da optimização deste tipo de redes, contudo continua a não existir uma análise da estrutura do sistema a nível global. Concluem ainda da necessidade essencial de olhar para a rede de transporte aéreo global numa perspectiva holística.

Os autores construíram a sua rede usando como nós cidades, em lugar de aeroportos (e.g. o nó – New York, corresponde ao conjunto de aeroportos: Newark Liberty International Airport, John F. Kennedy International Airport and La Guardia Airport). Os dados recolhidos para o estudo foram obtidos através da base de dados OAG MAX e o período considerado, a semana, entre 1 e 7 de Novembro de 2000.

No artigo foi tido em conta o coeficiente de *Clustering*, C , que quantifica a exclusividade local da rede, e é definida como a probabilidade de que duas cidades que se encontram directamente ligadas a uma terceira, também se encontrem directamente ligadas entre si. Para a rede de transporte aéreo o valor obtido para este coeficiente através do estudo em questão foi de 0,62, e deste modo, tal como esperado, foi possível concluir que a rede é do tipo *small-world*.

Os autores, com o intuito de aprofundar a estrutura e evolução da rede de transporte aéreo, recorreram ao cálculo do grau de distribuição das cidades, isto é, o número de outras cidades às quais se encontra ligada por meio de um voo directo. Este grau é uma importante fonte de informação, contudo este não fornece informação completa acerca da função que o nó desempenha na rede. Com o objectivo de ultrapassar este problema, os autores consideraram uma nova variável, *betweenness centrality* das cidades, B_i da cidade i , isto é, o número de caminhos mais curtos que liguem quaisquer duas cidades que envolvam uma transferência na cidade i .

Na sequência dos resultados obtidos os autores levantam uma nova questão, “Serão as cidades mais bem conectadas também as mais centrais?”. Da análise das distribuições obtidas, Figura 13, foi conclusivo que, para o caso da rede de transporte aéreo, cidades que não são *hubs*, tendo pequenos graus distribuição, possuem elevado *betweenness*. É pois necessário identificar as comunidades na rede e estabelecer novas formas para caracterizar a função de cada cidade com base no seu padrão de ligações intracomunidade e intercomunidade e não meramente no seu grau. Deste modo, é possível evitar os pontos de centralidade anómalos.

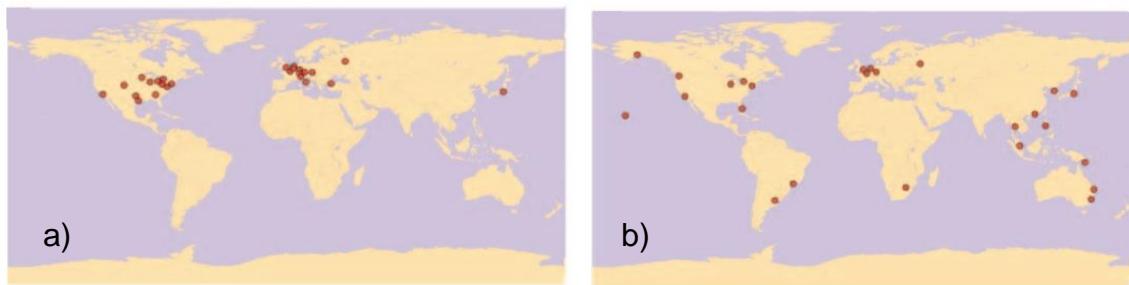


Figura 13 - a) As 25 cidades do mundo mais bem conectadas; b) As 25 cidades mais centrais do mundo.
Fonte: Guimerà et al., 2005.

A avaliação utilizando o conceito de comunidades originou um outro resultado significativo. Constatou-se que a distância geográfica não é a única variável na construção de comunidades, uma vez que os factores políticos desempenham um papel fundamental na determinação da estrutura das comunidades.

Relativamente ao objectivo de caracterizar a função desempenhada por cada cidade na rede, foram tidas em conta as ligações intra e intercomunidade, fazendo primeiramente a distinção entre nós que são *hubs* e *não-hubs*. Uma vez que um nó pode ser um *hub* dentro da sua própria comunidade, mas não é realmente um *hub* a nível global, foi definido um novo grau, chamado de grau do nó dentro da comunidade ou *z-score*, z_i , medindo quão “bem-conectado” se encontra o nó i aos restantes nós da sua comunidade.

Outra nova variável, identifica-se como coeficiente de participação de um nó, P_i , que será próximo do valor 1, caso as suas ligações se encontrem uniformemente distribuídas ao logo de todas as comunidades, e próximo do valor 0, caso todas as suas ligações sejam dentro da sua comunidade.

Em suma, a metodologia proposta por Guimerà et al. (2005) identifica *hubs* para nós com valores de *z* superiores ou iguais a 2,5 e *não-hubs* para nós cujo valor de *z* seja inferior a 2,5.

Quadro 3 - Funções dos nós. Fonte: Guimerà et al., 2005.

Nós Não-Hubs		Nós Hubs	
R1 – Ultra-periféricos ³	$P \leq 0,05$	R5 – <i>Provincial</i> ⁴	$P \leq 0,30$
R2 – Periféricos ⁵	$0,05 < P \leq 0,62$	R6 – Conectores ⁶	$0,30 < P \leq 0,75$
R3 – Conectores ⁷	$0,62 < P \leq 0,80$	R7 – <i>Kinless</i> ⁸	$P > 0,75$
R4 – Nós <i>kinless</i> ⁹	$P > 0,80$		

³ Nós com todas as suas ligações dentro da sua comunidade.

⁴ *Hubs* com uma vasta maioria de ligações dentro da sua comunidade.

⁵ Nós com a maioria das suas ligações dentro da sua comunidade.

⁶ *Hubs* com muitas ligações à maioria das outras comunidades.

⁷ Nós com muitas ligações a outras comunidades.

⁸ *Hubs* com ligações homogeneamente distribuídas ao longo de todas as comunidades.

⁹ Nós com ligações homogeneamente distribuídas ao longo de todas as comunidades.



Figura 14 - Conectores Não-hubs (verde), provincial hubs (amarelo), e connector hubs (castanho) na rede mundial de transporte aéreo. Fonte: Guimerà et al., 2005.

Os autores observaram que a maior percentagem da rede, 95,4%, corresponde a cidades classificadas tanto como periféricas como ultra-periféricas. Por outro lado, apenas uma pequena percentagem, 0,5% corresponde a conectores não-hubs. Estes resultados indicam que cidades que não são *hubs* nas suas respectivas comunidades, raramente têm ligações a muitas outras comunidades da rede. É de referir que segundo a investigação, 4,1% da rede corresponde a nós do tipo *hub*.

Para os autores a sua análise foi fundamental por duas razões: permite identificar as formas mais eficientes de organizar a estrutura da rede, reconhecendo em cada comunidade os nós mais fracamente conectados à rede e minimizar o problema; e, identificar as cidades com mais ligações a outras comunidades, sendo focus de propagação de processos dinâmicos, tais como infecções ou doenças.

2.4.2.5. QPL – Quick Path Length

Malighetti et al. (2008), em *Connectivity of the European airport network: "Self-help hubbing" and business implications*, abordam a questão da conectividade na rede aérea europeia, relacionando o potencial de um aeroporto para conexões indirectas com a sua atracividade para os passageiros. Os autores aplicam uma metodologia de caminho mínimo dependente do tempo, para o cálculo do tempo mínimo de viagem entre dois pares de aeroportos da rede, tendo em conta tempos de voo e tempos de espera.

Os autores quantificam as diferenças entre duas fontes de conectividade: a que é oferecida pelo sistema habitual de alianças e a que é definida pelos passageiros, através da escolha de voos e pontos de transferência ou “self-help hubbing”, sendo posteriormente possível comparar aproximadamente qual o tipo de conexão indirecta mais rápida.

Nesta metodologia é estimado um número mínimo de etapas exigido para conectar cada par de aeroportos, a esta variável é atribuída a denominação de *SPL* (caminho mais curto), sendo este valor

1 para o caso de voos directos e 2 ou mais no caso de voos indirectos. Para uma rede de N aeroportos, usa-se uma matriz de adjacência $N \times N$, a que se dá o nome de matriz de conectividade. Para cada aeroporto é estabelecido um índice de conectividade, CI_i , que corresponde à média do caminho mais curto entre o aeroporto i e todos os outros aeroportos da rede.

$$CI_i = \sum_{j=1, i \neq j}^N \frac{SPL_{ij}}{N-1} \quad (2.14)$$

Os dados recolhidos foram obtidos através da base de dados Innovata, actuando o estudo de índices de conectividade a dois nível, a rede global (3556 aeroportos) e a rede europeia (478 aeroportos), ambos para dados correspondentes ao ano de 2006 e considerando pelo menos um passageiro agendado.

Quadro 4 - Top 20 de aeroportos europeus, classificados através da conectividade europeia e conectividade mundial, em 2007. Fonte: Malighetti et al. (2008).

Rank	Airports	Code	CI World	Rank	Airports	Code	CI Europe
1	Frankfurt	FRA	2.36	1	Amsterdam Schiphol	AMS	1.81
2	Paris Charles de Gaulle	CDG	2.44	2	Munich	MUC	1.85
3	London Heathrow	LHR	2.46	3	Dublin	DUB	1.85
4	Amsterdam Schiphol	AMS	2.48	4	Barcelona	BCN	1.88
5	Munich	MUC	2.63	5	London Stansted	STN	1.88
6	Rome Fiumicino	FCO	2.63	6	Frankfurt	FRA	1.89
7	Zurich	ZRH	2.66	7	Paris Charles de Gaulle	CDG	1.89
8	Milan Malpensa	MXP	2.66	8	Oslo	OSL	1.90
9	Madrid	MAD	2.67	9	Copenhagen	CPH	1.91
10	Vienna	VIE	2.72	10	Dusseldorf	DUS	1.92
11	Barcelona	BCN	2.73	11	Prague	PRG	1.93
12	London Gatwick	LGW	2.75	12	Madrid	MAD	1.93
13	Copenhagen	CPH	2.75	13	Manchester	MAN	1.95
14	Manchester	MAN	2.78	14	Warsaw	WAW	1.95
15	Dusseldorf	DUS	2.78	15	Palma Mallorca	PMI	1.95
16	Athens	ATH	2.80	16	Rome Fiumicino	FCO	1.95
17	Helsinki	HEL	2.81	17	Cologne	CGN	1.97
18	Brussels	BRU	2.81	18	Malaga	AGP	1.97
19	Prague	PRG	2.84	19	Nice	NCE	1.97
20	Stockholm	ARN	2.84	20	Stockholm Arlanda	ARN	1.98

Nota: Quadro em língua inglesa.

Uma vez que o objectivo do estudo era a avaliação do potencial para aeroportos individuais permitirem conexões entre destinos europeus, verificou-se a necessidade de incluir algumas medidas de centralidade, tais como *betweenness* e *essential betweenness* para um dado aeroporto k , correspondendo a primeira ao número mínimo de caminhos dentro da rede que passam pelo nó k e a segunda número mínimo de caminhos inevitáveis passando pelo nó k para atingir um outro aeroporto.

Estas medidas de conectividade e centralidade apresentam alguns inconvenientes, tais como a consideração de apenas um passageiro por ano a efectuar essa conexão, que não pode justificar um caminho mínimo, e, por outro lado, as abordagens tradicionais de caminho mais curto que não têm em consideração importantes aspectos (e.g. tempos de viagem, frequência de voos ou preocupações de horário). Estas complexidades podem ser ultrapassadas analisando a rede em termos de tempo mínimo de viagem, deste modo os autores consideraram os dados correspondentes a um dia típico do ano. Por forma a simplificar a análise, os autores assumiram um tempo mínimo de interconexão de

60 minutos, para todos os aeroportos a nível europeu, e para tempo máximo não foi estabelecido um limite.

$$ST_{ij} = \{t: STT_{ijt} = STT_{ij}\} \quad (2.15)$$

$$STT_{ij} = \min_t (STT_{ijt}) \quad (2.16)$$

Sendo STT_{ijt} o tempo de viagem mais curto, STT_{ij} o tempo mínimo de viagem e ST_{ij} o melhor tempo de início de viagem, ou seja, o tempo de início que minimiza o tempo de viagem.

A análise não avalia a utilidade dos passageiros nem a escolha de rotas e aeroportos por parte dos passageiros, uma vez que considera apenas tempos de viagem. Para que estes aspectos fossem tidos em consideração outro conjunto complexo de variáveis seriam necessários, tais como, preços, número de etapas envolvidas, outros serviços fornecidos pelas companhias aéreas, a presença de programas de fidelização, tipo de avião, entre outros.

2.4.2.6. Conectividade Gross Vertex

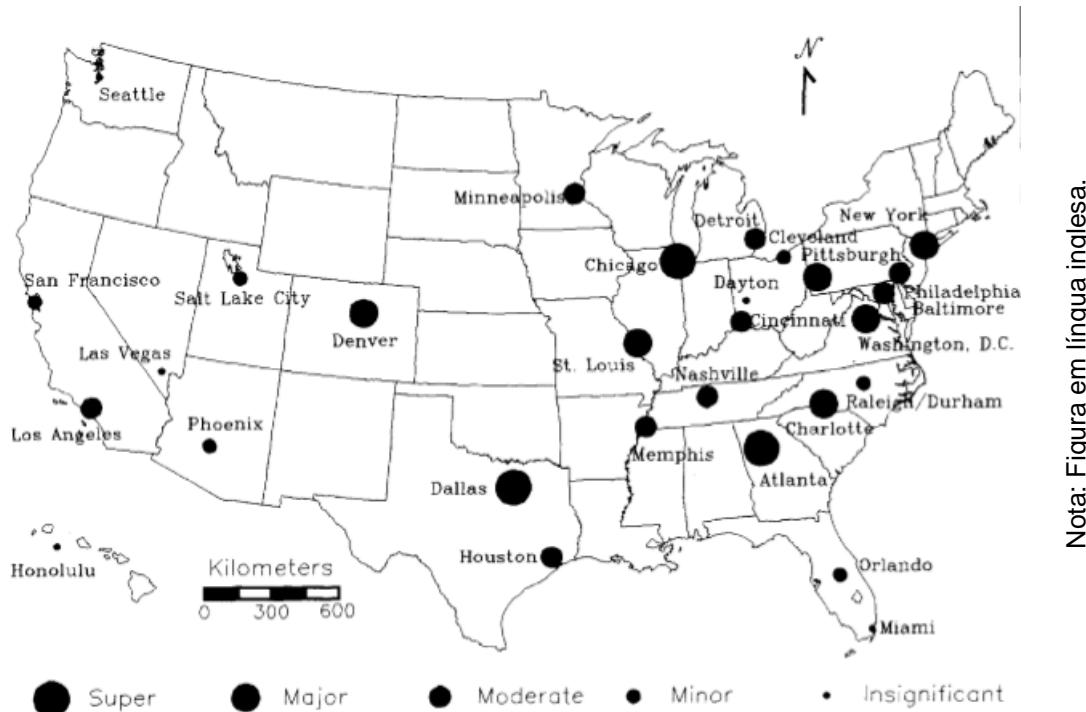
Ivy (1993), em *Variations in hub service in the US domestic air transportation*, centra-se na hierarquização dos *hubs*, considerando uma estrutura *hub-and-spoke*. O autor faz assim uma análise da conectividade usando a tradicional abordagem da matriz, derivando índices que são as bases para o desenvolvimento do esquema de classificação da conectividade.

O sucesso de um *hub* pode frequentemente depender do quão bem conectado se encontra relativamente aos restantes nós da rede aérea, deste modo, o autor baseia-se na teoria dos grafos, construindo uma matriz binária que representa a rede sintetizada num grafo. Neste grafo, as linhas horizontais representam os nós de origem e as colunas verticais os nós de destino. As entradas assumem o valor 1 para conexões directas entre um par de nós e o valor 0 para a inexistência de conexão directa. A matriz de conectividade, $C1$, mostra as conexões de primeira ordem numa rede de transportes. Uma vez que é do interesse do estudo ter também em conta conexões indirectas, estes valores podem ser determinados elevando a matriz original ao quadrado, multiplicando a matriz $C1$ por si mesma, obtendo-se a matriz $C2$, e, para a obtenção de $C3$, isto é, multiplicando a matriz $C1$ por $C2$. De modo a ter em conta todas as conexões existentes, a matriz deve ser potenciada até à ordem N , obtendo-se a matriz CN e sendo N o diâmetro¹⁰ da rede. Nesta última etapa todos os elementos zero terão desaparecido. A soma da matriz $C1$ com as restantes matrizes representa a acessibilidade total de cada nó dentro da rede ou matriz de acessibilidade, T . Somando as colunas e linhas individuais de T , torna-se possível produzir a conectividade de *gross vertex* para cada nó da rede.

¹⁰ O conceito de diâmetro significa a distância topológica mais curta entre os dois nós mais significantes da rede.

Ivy (1993) aplicou o seu estudo a um conjunto de 117 nós para medir a conectividade dentro da rede de transporte aéreo doméstico nos Estados Unidos da América. A maioria dos nós pertenciam a áreas urbanas e todos os aeroportos *non-hubs* foram excluídos do estudo. Os dados recolhidos dizem respeito a Novembro de 1991 e foram obtidos através da base OAG. O diâmetro usado para a rede foi de 3, uma vez que era possível voar entre qualquer par de cidades do estudo em 3 ou menos segmentos de voo, obtendo-se assim todos os elementos da matriz não-zero para a matriz C3.

Os nós foram posteriormente classificados em: super; principal; moderado; secundário; e, insignificante, obtendo-se assim a Figura 15.



Nota: Figura em língua inglesa.

Figura 15 - Robustez da conectividade de hubs, nos EUA. Fonte: Ivy (1993).

2.4.2.7. Número de Padrões de Conexões

Budde et al. (2008), em *Borrowing from Behavioural Science: A Novel Method for the Analysis of Indirect Temporal Connectivity at Airport Hubs*, introduzem um novo método empírico que quantifica a conectividade indireta em termos temporais, num aeroporto *hub*, e procuram ultrapassar certas limitações existentes nas metodologias anteriores. Os autores aplicam um algoritmo de reconhecimento de padrões, originalmente desenvolvido para investigações de âmbito comportamental. O software usado “Theme”, foi criado pelo psicólogo Magnus Magnusson, com o objectivo de reconhecer padrões na ocorrência de eventos.

Segundo Danesi (2006), a coordenação de horários pode ser definida como a acção e o efeito da organização do horário do *hub* de acordo com um padrão ordenado, podendo, deste modo, a

conectividade ser melhorada sem que haja a necessidade de aumentar o número de voos. Baseando-se neste conceito, os autores restringiram a sua análise à conectividade temporal, definindo-a através da frequência semanal e tempo de conexão, para uma determinada conexão indirecta. Quanto mais elevada a frequência e menor a média de tempos de transferência, melhor é considerada a conexão. O melhor horário, no que concerne a coordenação, será aquele que de forma mais eficiente contrabalança a baixa frequência com elevadas conectividades temporais.

A metodologia usada baseia-se no seguinte princípio: se dois eventos ocorrerem em sucessão e, pelo menos, duas vezes dentro de um intervalo de tempo, o programa testa a hipótese nula que esses eventos sejam distribuídos independentemente e tenham uma probabilidade constante por unidade de tempo. As chegadas e partidas podem ser conceptualizadas como eventos e uma conexão indirecta de elevada qualidade pode ser conceptualizada como um padrão, uma vez que consiste em dois eventos que ocorrem repetidamente e numa curta proximidade temporal. Em suma, a metodologia baseia-se na medição da qualidade da coordenação dos horários, através da determinação da capacidade do horário gerar padrões de chegadas e partidas.

No estudo, recorreu-se ao uso de dados de dois aeroportos distintos, Frankfurt e London-Stansted, de semanas aleatórias, em Junho e Fevereiro, respectivamente, mas ambas para o ano de 2007. Para o primeiro caso de estudo, o tempo mínimo de conexão considerado foi de 45 minutos, e para o segundo, de 120 minutos.

Os resultados obtidos foram de acordo com as expectativas, obtendo-se para o aeroporto de Frankfurt valores bastante superiores aos de Stansted, isto é, uma taxa de 2,18 padrões por evento (9393 padrões e 4305 eventos) para Frankfurt, e uma taxa de 0,68 padrões por evento (2279 padrões e 3349 eventos) para Stansted.

De acordo com os autores, o método possui vantagens distintas de outros métodos existentes na área em estudo. A taxa padrão/evento origina um indicador numérico exacto de conectividade temporal indirecta numa escala contínua e a frequência semanal é uma componente integral do modelo. A avaliação empírica de todos os pares possíveis de conexão de voos individualmente permite uma análise mais profunda da conectividade. Por outro lado, restringindo a pesquisa de padrões, as conexões irrelevantes podem ser colocadas fora da análise.

2.4.2.8. ACI - Índice de conectividade aérea

Arvis e Shepherd (2011), em *The Air Connectivity Index – Measuring Integration in the Global Air Transport Network*, definem conectividade como a importância de um país, como nó, para o sistema global de transporte aéreo. Os autores abordam esta questão utilizando uma metodologia que surge naturalmente de um modelo gravitacional.

Os autores baseiam-se sobretudo em dois estudos anteriores, Pearce (2007) e UNCTAD (2007), mas, ainda assim, distinguindo-se em três diferentes aspectos: a incorporação da conectividade num modelo sistemático; o uso da conectividade como uma ferramenta política, ao invés da simples

descrição das propriedades da rede; e, o enfoque na análise ao nível do país, e não ao nível do aeroporto. Segundo Arvis e Shepherd (2011), intuitivamente, uma boa definição de conectividade deve contemplar as seguintes propriedades:

- Ser realista;
- Ser intensiva, sendo independente do tamanho do nó;
- Ser adimensional e normalizada, correspondendo a um número sem dimensão e de preferência com limites;
- Ser global, numa definição ideal, no sentido em que, directa ou recursivamente, incorpora informações sobre a rede completa, e não apenas as propriedades de um determinado nó e sua vizinhança imediata.

No estudo em questão, os nós não são apenas indivíduos abstractos ou entidades com uma ligação de zero-um entre eles. Os nós são considerados objectos espaciais que interagem (países, aeroportos, portos), com níveis diferenciados de actividade e custos mensuráveis de interacção entre eles. Segundo Arvis e Shepherd (2011), a essência da interpretação gravitacional de modelos de interacção espacial, tais como os descritos na literatura comercial, é uma estrutura bi-proporcional, como se verifica na equação (2.17). O fluxo entre a origem e o destino é proporcional ao tamanho ou potencial da origem e destino, e, é, por outro lado, inversamente proporcional a uma "impedância" entre eles, que é independente das suas potencialidades e incorpora informações sobre interacções bilaterais entre os nós, como a distância, tempo e custos envolvidos na passagem de um nó para outro.

$$X_{ij} = A_i B_j K_{ij} \quad (2.17)$$

$$X_{i.} = \sum_j A_i B_j K_{ij} \quad (2.18)$$

$$X_{.j} = \sum_i A_i B_j K_{ij} \quad (2.19)$$

Onde, A_i corresponde ao potencial repulsivo do nó i , B_j corresponde ao potencial atractivo do nó j , X_{ij} corresponde ao fluxo repelido pelo nó i e atraído pelo nó j , e K_{ij} corresponde à impedância bilateral.

A conectividade média para o nó i , ou o índice de conectividade aérea, ACI, é dado pela equação (2.20).

$$\bar{C}_i = \sqrt{\frac{X_{i.}}{A_i + \sum_j B_j}} \times \sqrt{\frac{X_{.i}}{B_i + \sum_j A_j}} \quad (2.20)$$

No estudo fez-se uso de dados existentes na plataforma *SRS*¹¹, agregados ao nível do país, para o mês de Junho de 2007. Apresenta-se no Quadro 5, um excerto dos resultados obtidos pelos autores em questão.

Posteriormente, os autores procuram relacionar os resultados obtidos com outros factores externos, tais como, a liberalização dos mercados aéreos e o desempenho do comércio, em mercadoria e por partes e componentes.

Quadro 5 - Exerto dos resultados, ao nível do país, do ACI (2007) e respectivo ranking mundial. Fonte: Arvis e Shepherd (2011).

Country	ACI	Rank	Country	ACI	Rank
Afghanistan	3.08%	115	Chile	1.79%	162
Albania	7.28%	25	China	5.70%	46
Algeria	6.64%	33	Christmas Island	1.99%	145
Angola	1.42%	189	Cocos (Keeling) Islands	1.48%	187
Anguilla	4.11%	73	Colombia	3.02%	117
Antigua and Barbuda	3.95%	82	Comoros	1.43%	188
Argentina	2.41%	133	Congo	1.57%	184
Armenia	3.99%	79	Cook Islands	0.54%	211
Aruba	3.88%	84	Costa Rica	3.24%	110
Australia	5.90%	44	Cote d'Ivoire	1.84%	158
Austria	9.40%	11	Croatia	9.06%	15
Azerbaijan	3.63%	98	Cuba	4.92%	52
Bahamas	5.87%	45	Cyprus	4.84%	54
Bahrain	4.42%	66	Czech Republic	9.87%	10
Bangladesh	2.79%	121	Dem. Republic of the Congo	1.64%	178
Barbados	3.37%	106	Denmark	9.11%	14

Nota: Quadro em língua inglesa.

2.4.3. Conclusões acerca das Medidas

Uma análise comparativa mais detalhada entre as medidas de avaliação de conectividade atrás referidas encontra-se no Quadro 6, utilizando as dimensões definidas e referidas no subcapítulo 2.4.1.

Outras medidas de avaliação de conectividade incluem: Potencial Hub (Dennis, 1998); Conectividade de Doganis e Dennis (Doganis e Dennis, 1989); e, Conectividade de Bootsma (Bootsma, 1997). Contudo, estas metodologias não foram tidas em conta, uma vez que os correspondentes estudos se encontram inacessíveis e apresentam variadas limitações, que levam à sua rejeição no âmbito deste estudo. Ainda assim, algumas das suas propriedades, para efeito de revisão de literatura, podem ser encontradas no Quadro 6.

¹¹ *Schedules Reference Service Analyzer* (www.sranalyser.com).

Quadro 6 - Comparação entre medidas de avaliação de conectividade. Adaptado de Burghouwt e Redondi (2013).

Medida de Avaliação de Conectividade	Estudo (Autor e Ano)	Input	Output	Modelo Local ou Global	Coordenação temporal	Factor de Routing	Qualidade da conexão	Nº etapas máxima permitido	Vantagens e Limitações na aplicação ao caso de estudo
WNX – Conectividade ponderada	Burghouwt e Wit, 2005	IDT - tempo efectivo de voo (conexão indirecta) DTT - tempo estimado de voo (conexão directa) baseado na distância do grande círculo $M_{i,j}$ - tempo mín. de conexão T_j - tempo máx. de conexão para a conexão j , T_h - tempo de transferência no <i>hub</i>	WI - ponderação de cada conexão indirecta WNX - número total ou ponderado total de conexões indirectas de um <i>hub</i>	Local	✓	✓	Contínuo	2 (1 transferência)	Modelo local de fácil implementação; Tem em conta coordenação temporal e factor de <i>routing</i> ; Resultados mais precisos - Análise contínua; Análise de “dimensão”.
									Elevado volume de dados.
CNU - Netscan	Veldhuis, 1997	NST - tempo de viagem sem-paragem FLY - tempo de voo/voos TRF - tempo de transferência FREQ - frequência	CNU - número de unidades de conectividade	Local	✓	✓	Contínuo	2 (1 transferência)	Modelo local de fácil implementação; Tem em conta coordenação temporal e factor de <i>routing</i> ; Resultados mais precisos - Análise contínua; Análise de “dimensão”.
									Elevado volume de dados; O <i>input</i> frequência não faz sentido, pois cada conexão é analisada individualmente ao longo de uma semana, e não a sua repetição.

Medida de Avaliação de Conectividade	Estudo (Autor e Ano)	Input	Output	Modelo Local ou Global	Coordenação temporal	Factor de Routing	Qualidade da conexão	Nº etapas máximo permitido	Vantagens e Limitações na aplicação ao caso de estudo
WCn – Número ponderado de conectividade	Danesi, 2006	$t_{a,i}$ – hora de chegada do voo i $t_{d,j}$ – hora de partida do voo j $TT_k = t_{d,j} - t_{a,i}$ – tempo de transferência agendado entre o voo i e j ID_k – distância do grande círculo entre o ponto de origem do voo i e o ponto de destino do voo j DD_k – soma das distâncias do grande círculo correspondentes aos voos que ligam i e j $DR_k = ID_k/DD_k$ – índice de routing	WCR – rácio ponderado de conectividade	Local	✓	✓	Discreto	2 (1 transferência)	Tem em conta coordenação temporal e factor de routing; Análise de "dimensão".
									Análise discreta, perda de exactidão nos resultados; Alguma complexidade na implementação, pois os cálculos são efectuados matricialmente.
SPL – Short Path Length	Guimerà et al., 2005	C - coeficiente de <i>Clustering</i> de um nó Grau de distribuição das cidades B_i - <i>betweenness centrality</i> da cidade i Z_i - z-score ou grau do nó dentro da comunidade P_i - coeficiente de participação de um nó	Função dos nós (Quadro 3)	Global	✗	✗	Binário	>2 (>1 transferência)	Permite análise para mais do que uma transferência, preferenciais em casos de voos de longo curso ou mercados de pequenos aeroportos.
									Análise "best in class", preferencial no caso de análise de redes; Modelo global implicando elevada complexidade; Análise binária; Não tem em conta coordenação temporal e factor de routing.

Medida de Avaliação de Conectividade	Estudo (Autor e Ano)	Input	Output	Modelo Local ou Global	Coordenação temporal	Factor de Routing	Qualidade da conexão	Nº etapas máximo permitido	Vantagens e Limitações na aplicação ao caso de estudo
QPL – Quick Path Length	Malighetti et al., 2008	SPL para N aeroportos – nº mín. de etapas exigidas para conectar cada par de aeroportos (caminho mais curto), sendo 1 para voos directos e 2 ou mais para voos indirectos <i>Betweenness</i> – nº mín. de caminhos dentro da rede que passam pelo nó k <i>Essential betweenness</i> – nº mín. de caminhos inevitáveis passando pelo nó k para atingir um outro aeroporto	Cl_i - média de SPL entre o aeroporto i e todos os outros aeroportos da rede ST_{ij} - tempo de partida que minimiza o tempo de viagem	Global	✓	✓	Binário	> 2 (>1 transferência)	Permite análise para mais do que uma transferência, preferenciais em casos de voos de longo curso ou mercados de pequenos aeroportos; Tem em conta coordenação temporal e factor de <i>routing</i> .
Conectividade Gross Vertex	Ivy, 1993	Conexões existentes entre todos os nós da rede escolhida, formando a matriz de conectividade, $C1$.	Matriz de acessibilidade, T , cuja soma dos seus elementos dará a Conectividade Gross Vertex. Classificação dos nós.	Local	✗	✗	-	> 2 (>1 transferência)	Modelo local de fácil implementação; Análise de “dimensão”. Não tem em conta coordenação temporal e factor de <i>routing</i> ; Inclusão de redundâncias na matriz final de acessibilidade; Consideração de igual importância em todos os nós.

Medida de Avaliação de Conectividade	Estudo (Autor e Ano)	Input	Output	Modelo Local ou Global	Coordenação temporal	Factor de Routing	Qualidade da conexão	Nº etapas máximo permitido	Vantagens e Limitações na aplicação ao caso de estudo
Número de padrões de conexões	Budde et al., 2008	<p>Software: "Theme"</p> <p>Parâmetros essenciais:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Direcção dos voos (todos as partidas e chegadas) com os respectivos códigos de aeroporto e números de voo - Tempo mínimo de conexão 	<p>Frequências de Eventos e Padrões de Taxas de padrões/eventos</p>	Local	✓	✗	Binário	2 (1 transferência)	Tem em conta a coordenação temporal; Permite distinguir entre conexões planeadas de conexões aleatórias, embora não tenha relevância para o estudo.
									Não tem em conta factor de routing; Elevada complexidade; Software usado.
Índice de Conectividade Aérea (ACI)	Arvis e Shepherd, 2011	A_i - potencial repulsivo do nó i ; B_j - potencial atractivo do nó j ; X_{ij} - fluxo repelido pelo nó i e atraído pelo nó j ; K_{ij} - impedância bilateral	\bar{C}_i ou ACI	Global	✗	✗	-	-	Análise ao nível do país, e não ao nível do aeroporto; Modelo de elevada complexidade; Não tem em conta a coordenação temporal e factor de routing.
Potencial Hub	Dennis, 1998	-	-	Local	✗	✗	-	2 (1 transferência)	Análise de "dimensão".
									Não tem em conta coordenação temporal e factor de routing.

Medida de Avaliação de Conectividade	Estudo (Autor e Ano)	Input	Output	Modelo Local ou Global	Coordenação temporal	Factor de <i>Routing</i>	Qualidade da conexão	Nº etapas máximo permitido	Vantagens e Limitações na aplicação ao caso de estudo
Conectividade de Bootsma	Conectividade de Doganis e Dennis	Doganis e Dennis, 1989	-	-	Local	✓	✗	Binário	Tem em conta coordenação temporal; Análise de "dimensão".
	Bootsma, 1997	-	-	Local	✓	✗	Discreto	2 (1 transferência)	Não tem em conta factor de <i>routing</i> ; Análise binária.
									Tem em conta coordenação temporal; Análise de "dimensão".
									Não tem em conta factor de <i>routing</i> ; Análise discreta.

Do ponto de vista do número de etapas necessárias, os modelos do tipo local permitem somente analisar as conexões com um máximo de uma transferência no hub, isto é, duas etapas, com exceção para o modelo de conectividade *Gross Vertex*. Para análises com mais de duas etapas, tais como voos de longo curso ou mercados de pequenos aeroportos, apenas os modelos globais QPL e SPL permitem incluir conexões deste tipo, com mais de uma transferência, isto é, mais de duas etapas.

As análises podem ser de dois tipos: “dimensão” ou “*best in class*”. Para o primeiro caso, aplicam-se modelos locais contando cada conexão possível no mercado, independentemente de serem a mais rápida ou a mais curta. Verifica-se uma exceção para o caso do modelo local, Número de padrões de conexões, que permite distinguir entre conexões planeadas e conexões aleatórias. Os modelos globais QPL e SPL definem qual a conexão do mercado mais rápida ou mais curta, correspondendo ao segundo caso, “*best in class*”.

Segundo Burghouwt e Redondi (2013) as circunstâncias em que cada metodologia deve ser usada, depende muito do objectivo do investigador. Se se atender ao nível aceitável de perda de informação em termos de qualidade da conexão, sabe-se que quanto mais detalhada a análise for, menor será esta perda. Os modelos locais agregam mais dados e são de obtenção mais fácil e rápida, e, os seus resultados podem ser facilmente compreendidos por “não-especialistas”.

Verificou-se que as medidas mais adequadas a aplicar seriam WNX ou Netscan, uma vez que ambas são modelos contínuos, ou seja, resultando em valores mais precisos, e avaliam a dimensão, ou seja, a qualidade do aeroporto e não a sua posição dentro de um *ranking* de aeroportos. Ambas as metodologias têm em conta a coordenação temporal e o factor de *routing*, isto é, avaliam não só os tempos de voo/espera bem como a coordenação espacial ou qualidade das rotas. Estas ferramentas mostraram-se suficientemente robustas e aplicáveis ao objectivo pretendido. Os dados de entrada encontravam-se disponíveis e os dados de saída seriam os pretendidos para a análise. Para além disto, os modelos apenas consideram uma transferência, sendo portanto locais, o que reduz alguma complexidade no cálculo e permite exequibilidade de acordo com os dados e tempos disponíveis. Posteriormente, devido ao facto de os dados utilizados serem semanais, sendo deste modo o *input* frequência já assumido, o método de WNX revelou-se efectivamente o mais adequado.

3. Caso de Estudo

O caso particular de estudo encontra-se descrito nos subcapítulos seguintes. Primeiramente, foi exposto todo o processo de aplicação da metodologia, alterações ao método original e dados utilizados. Numa segunda fase, foram demonstrados todos os resultados e feita uma análise e discussão dos valores obtidos.

3.1. Tratamento de Dados e Aplicação da Metodologia

A medida de avaliação de conectividade, WNX, proposta por Burghouwt e de Wit (2005), foi definida como sendo a mais adequada ao caso de estudo, como avaliado e descrito no capítulo anterior, em particular no Quadro 6.

Os dados recolhidos foram obtidos através do OAG, *Official Airline Guide*, uma empresa sediada no Reino Unido que fornece informação de aviação confiável e de qualidade. Sabe-se que os seus dados sustentam sistemas de distribuição global e portais de viagens mundiais, e impulsionam os sistemas internos de muitas companhias aéreas, sistemas de controlo de tráfego aéreo, fabricantes de aeronaves, planeadores de aeroportos e agências governamentais de todo o mundo.

Contudo, apenas foi possível aceder a informação correspondente ao ano de 2010, devido aos elevados custos envolvidos na aquisição de dados mais recentes. Uma vez que a IATA define duas épocas por ano, considerou-se uma semana pertencente a cada uma delas, a saber: 24 a 30 de Maio e 11 a 17 de Outubro. Procurou-se ainda que as semanas escolhidas não correspondessem a períodos de pico, tais como grandes épocas festivas. Usou-se o programa *Microsoft Excel 2010* para a manipulação dos dados, recorrendo-se ainda à ferramenta *Microsoft Visual Basic for Applications*, devido ao elevado volume de dados e por forma a agilizar a operação.

O processo de cálculo foi composto por uma série de etapas/módulos essenciais, encontrando-se representados na Figura 16. Todos os módulos foram executados duas vezes para cada um dos aeroportos, Verão e Inverno. O processo apresentou-se bastante moroso, demorando cada uma das execuções completas dos 5 módulos em média entre 5 e 6 horas, dependendo do volume de voos em cada um dos aeroportos. A execução do módulo 1 foi o mais demorado, levando em alguns casos à criação de cerca de 250 000 linhas/possibilidades de conexão não filtradas. A descrição pormenorizada de todo o processo encontra-se descrita de seguida.

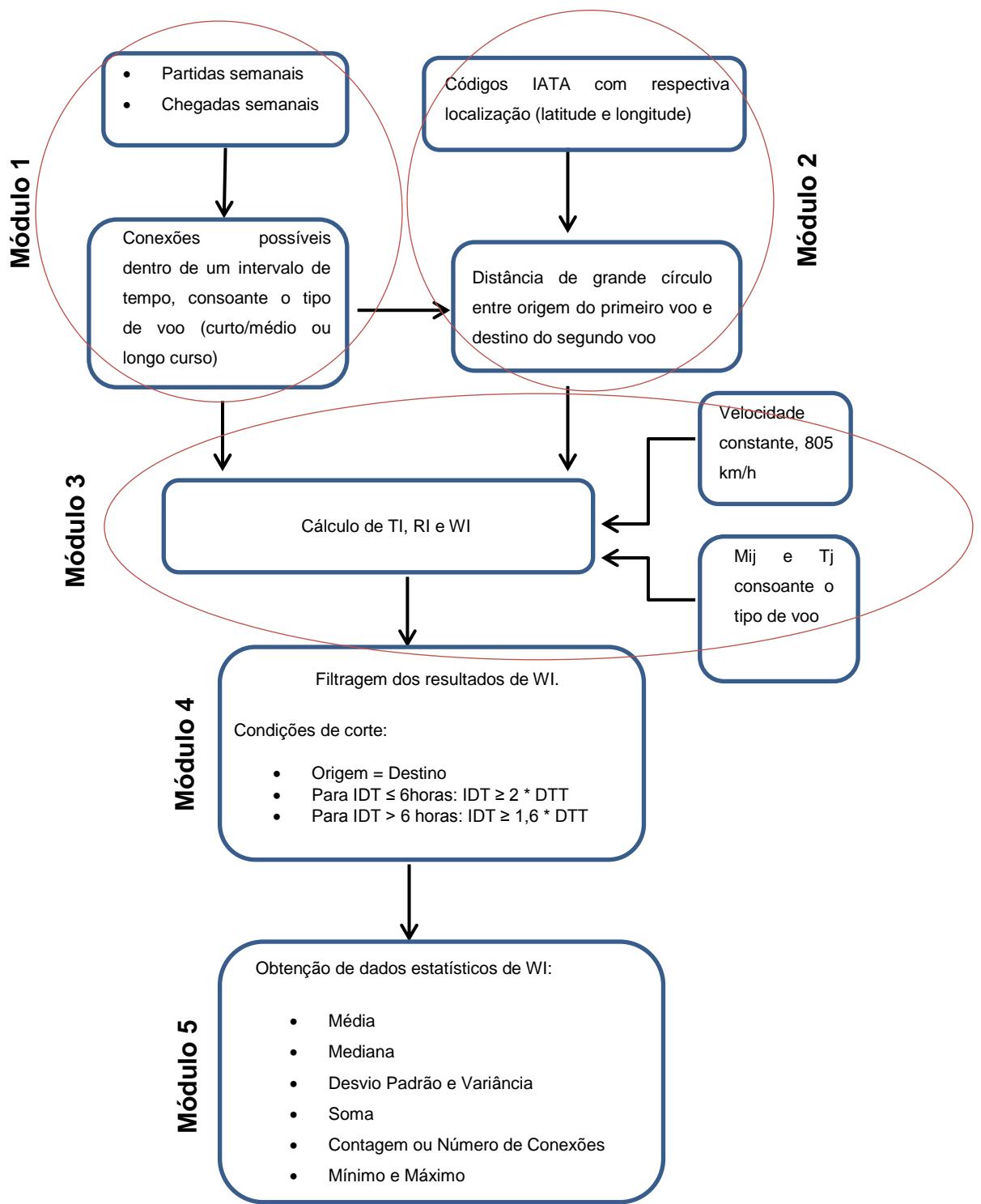


Figura 16 - Fluxograma do processo de cálculo para cada um dos aeroportos estudados, para ambas as épocas.

No caso de estudo, foram tidas em conta não só conexões entre a mesma companhia aérea ou aliança, bem como qualquer conexão viável dentro de determinadas condições temporais, que cada passageiro se proponha a realizar, independentemente das companhias envolvidas em cada um dos voos do trajecto, ou seja, é assumido que a escolha de companhias ao longo do trajecto é uma escolha de cada passageiro, “*self-help hubbing*”. Para além disso, voos em *code-share* são considerados como voos independentes.

No primeiro módulo VBA, exemplificado no Anexo 1, foram considerados todos os voos de chegada e partida previstos para cada um dos dias num determinado aeroporto. Uma vez que a análise é realizada de forma semanal, foram consideradas as horas de partida e chegada acumuladas, para que houvesse continuidade no processo de transferência ao longo dos vários dias. Deste modo, efectuou-se um ciclo para todos os voos de chegada avaliando-se, através de um segundo ciclo, os possíveis voos de partida com os quais poderia existir conexão. Obtendo-se assim a listagem de todas as conexões possíveis e respectiva informação acerca dos voos de origem e destino. A possibilidade de conexão depende de um critério base, o tempo de transferência. Este tempo tem necessariamente que se encontrar dentro de um intervalo, isto é, seja superior a um tempo mínimo de conexão e inferior a um tempo máximo de conexão.

Quanto à atribuição de limites, Burghouwt e de Wit (2005) optam por uma divisão dos aeroportos segundo continentes, contudo, este tipo de distribuição pode levar a erros quanto à consideração de valores intercontinentais no caso de voos entre países muito próximos ainda que pertencentes a diferentes continentes, e de valores continentais no caso de voos entre países muito distantes ainda que pertencentes ao mesmo continente. Por esta razão, no presente estudo os valores de tempos máximos e mínimos de transferência assumidos dependem somente da duração do voo, definindo-os em duas categorias distintas, voos de longo curso ou voos de curto/médio curso. Sabe-se que o tempo de transferência depende também de questões alfandegárias que podem variar consoante o continente, região ou país onde se insere o aeroporto, mas esse tipo de objecto não será tido em conta. Concluindo, um voo será do tipo longo curso quando a sua duração é superior a 5 horas e curto/médio curso quando a sua duração é inferior ou igual a 5 horas. Foi assumido o valor de 5 horas, sendo esta a duração máxima correspondente a um voo dentro da Europa ou Estados Unidos da América, isto é, um voo dito tipicamente continental.

No caso de estudo, não foram considerados os tempos máximos e mínimos de transferência propostos por Burghouwt e de Wit (2005), como referido anteriormente. Optou-se sim pelo uso dos valores definidos por Danesi (2006), ainda que neste caso a divisão seja em termos continentais. De acordo com o estudo de Danesi (2006), os valores mínimos considerados correspondem a valores típicos de *hubs* europeus e os valores máximos apresentam-se mais rigorosos relativamente aos padrões de nível de serviço, quando comparados com os tempos adoptados por Burghouwt e de Wit (2005). Existe uma excepção apenas para o caso de transferência entre longo curso – longo curso, optando-se por um valor mais elevado, 240 minutos, ou invés dos 180 minutos definidos por Danesi (2006), permitindo assim uma maior margem de tempo de transferência.

Os tempos limites de transferência são variáveis consoante o tipo de voo, como se apresenta abaixo no Quadro 7.

Quadro 7 - Tempos mínimos e máximos de transferência consoante os tipos de voo. Adaptação de Danesi (2006).

Tipo de transferência	$M_{i,j}$ – tempo mínimo de transferência (minutos)	T_j – tempo máximo de transferência (minutos)
Curto/médio curso – Curto/médio curso	45	120
Curto/médio curso – Longo curso	60	180
Longo curso – Curto/médio curso	60	180
Longo curso - Longo curso	60	240

Posteriormente à obtenção das conexões viáveis para um determinado aeroporto, foi necessário proceder a um cálculo auxiliar de modo a obter a distância de voo entre os aeroportos de origem e destino, sendo um parâmetro essencial ao cálculo do DTT de cada conexão. Este processo corresponde ao módulo 2, representado no fluxograma anterior. Esta distância é obtida através do método conhecido como distância de grande círculo, e, representa a menor distância entre dois pontos na superfície de uma esfera, neste caso a Terra, medido ao longo da superfície da mesma (em oposição a uma linha recta através do interior da esfera). Deste modo, o centro do grande círculo coincide com o centro da esfera a que se refere.

Para tal, através dos códigos IATA de origem e destino são identificadas as respectivas posições no globo, latitude e longitude. Segundo Jenkinson *et al.* (1999), o processo de cálculo da distância de grande círculo baseia-se em cinco passos essenciais:

- Transformação das posições, latitude e longitude, para graus;
- Determinação do ângulo no centro da terra desde o pólo norte até cada aeroporto, somando 90° a cada uma das latitudes, sendo Sul positivo e Norte negativo (AOB e AOC);
- Determinação do ângulo, no eixo polar, entre os dois aeroportos através da multiplicação das longitudes, sendo Este positivo e Oeste negativo (BOC_{Polar});
- Cálculo do ângulo verdadeiro entre os dois aeroportos na Terra ($BOC_{Verdadeiro}$):

$$\cos(BOC_{Verdadeiro}) = \cos(AOB) \times \cos(AOC) + \cos(BOC_{Polar}) \times \sin(AOB) \times \sin(AOC) \quad (3.1)$$

- Conversão do resultado de graus para milhas náuticas, multiplicando pela constante 60, e conversão de milhas náuticas para quilómetros, multiplicando pela constante 1,852.

O código VBA utilizado no cálculo da distância de grande círculo encontra-se descrito no exemplo do Anexo 2.

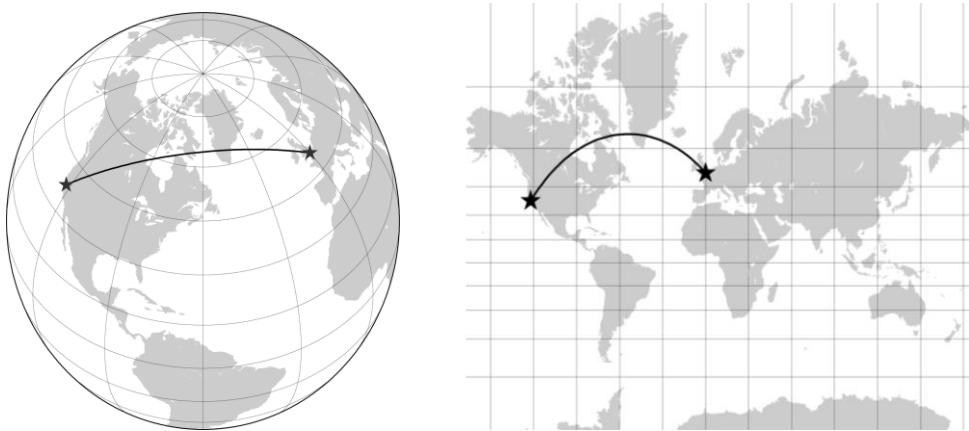


Figura 17 - Representações da distância de grande círculo, São Francisco-Londres.

Procedeu-se ainda à avaliação do método usado para calcular a distâncias de grande círculo recorrendo a ferramenta *Great Circle Mapper*¹². Para uma amostra de 10 voos directos aleatórios, comparando as distâncias calculadas através do método usado no estudo com os valores dados pela ferramenta auxiliar, foi registado um erro máximo de 4%, sendo que a maioria se encontrava abaixo de 1%, o que na prática é um erro pouco significativo e portanto desprezável, assumindo-se assim que o método usado é suficientemente preciso.

Os cálculos seguintes têm por objectivo a atribuição de valores a cada uma das variáveis presentes nas expressões que compõem a metodologia, correspondendo ao módulo 3, que se encontra exemplificado no Anexo 3. Com o intuito de calcular o factor de *routing*, R , efectua-se o quociente entre o tempo efectivo de voo de conexão indireta, IDT , corresponde ao valor da soma dos tempos de voo de cada um das etapas da conexão, e o tempo estimado de voo de uma conexão directa, DTT . A variável DTT corresponde ao quociente entre a distância, caso o voo fosse directo, baseada na distância do grande círculo, e uma velocidade média assumida constante para todos os casos. A velocidade de cruzeiro da maioria das aeronaves comerciais actuais ronda os 900 km/h, porém, considerando que a velocidade pode ser reduzida devido a alguns factores, tais como, vento de cauda e perdas na descolagem e aterragem, neste estudo, assumiu-se como velocidade média 805 km/h, correspondente a 500 mph, velocidade regularmente adoptada.

Por outro lado, no cálculo do índice de transferência, TI , de cada conexão existente foram considerados os tempos máximo, T_j , e mínimo de transferência, $M_{i,j}$, já anteriormente referidos no Quadro 7, e o tempo de efectivo de transferência relativo a cada conexão, T_h .

O módulo 4 corresponde à filtragem dos resultados, sendo descrito de seguida e encontrando-se exemplificado no Anexo 4. Os casos cuja origem se apresentou igual ao destino foram eliminados, uma vez que não há qualquer sentido na sua utilização. E considerou-se ainda necessário filtrar de algum modo os resultados, eliminando conexões sem sentido, ou seja, em que os pontos de origem e

¹² <http://www.greatcirclemapper.net/>.

destino se encontrassem tão próximos que não fizesse sentido efectuar transferência num *hub* distante. O modelo de Burghouwt e de Wit (2005), nestes casos, atribui ao parâmetro RI um valor nulo, contudo não exclui estas hipóteses uma vez que o valor TI se mantém positivo. Para tal, os resultados tinham que respeitar a seguinte equação, caso contrário, foram eliminados.

$$IDT \leq a \times DTT \quad (3.2)$$

$$DTT \geq \% \text{ percentagem de corte} \times IDT \quad (3.3)$$

Com o objectivo de determinar o valor de a , dividiram-se os resultados em duas situações, tempo de voo, excluindo tempo de transferência, IDT, até 6 horas de voo e superior a 6 horas de voo, isto é, voos tipicamente continentais ou curto/médio curso e voos tipicamente intercontinentais ou longo curso, respectivamente. Perante esta divisão efectuou-se uma análise do número de conexões obtidas segundo uma variação de percentagens de corte, apenas para o caso de Lisboa, com o intuito de determinar o valor mais adequado a assumir em a . A percentagem de corte corresponde ao valor da percentagem de IDT abaixo da qual DTT se encontrará no caso de exclusão da conexão.

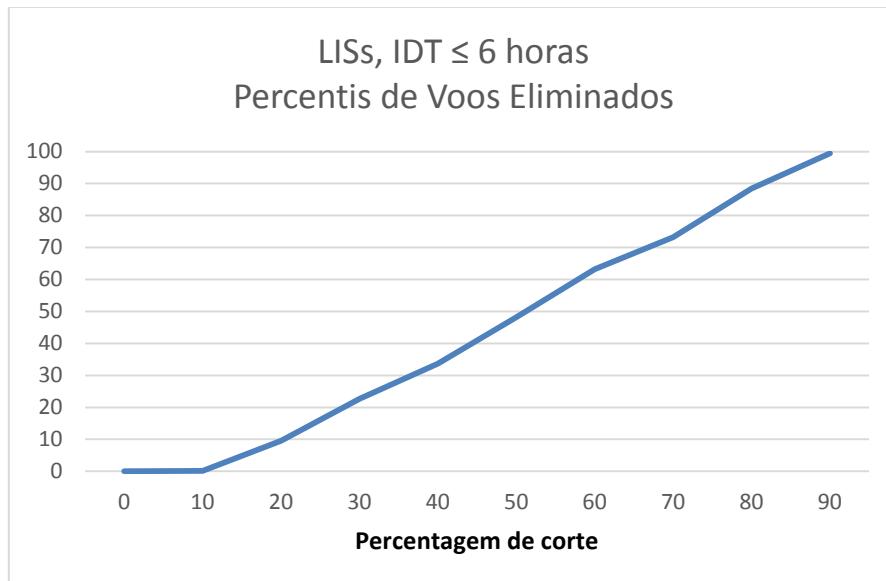


Figura 18 – Percentis de Voos Eliminados em função da percentagem de corte, para $IDT \leq 6$ horas, para o caso do Aeroporto de Lisboa na época de Verão.

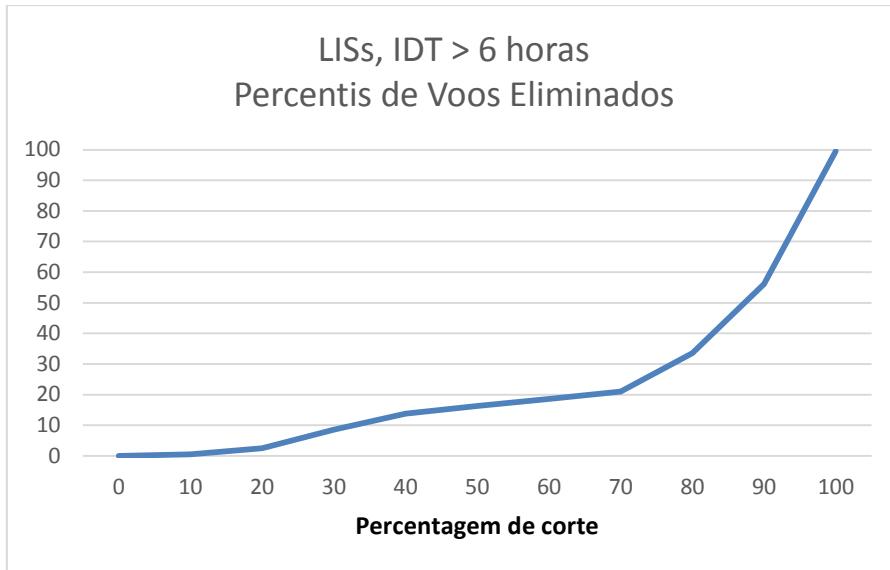


Figura 19 - Percentis de Voos Eliminados em função da percentagem de corte, para IDT > 6 horas, para o caso do Aeroporto de Lisboa na época de Verão.

Foi possível constatar que no caso de voos de curta duração a perda de conexões se dá de forma gradual, à medida que aumenta a percentagem de corte. Por outro lado, no caso de voos de maior duração a perda dá-se de forma mais concentrada, isto é, até uma percentagem de corte de 60 a 70% ainda são contabilizadas 80% das conexões. Por esta razão, admitiu-se uma percentagem de corte de 50% no primeiro caso e cerca de 62,5% no segundo, o que corresponde a valores de a de 2 e 1,6, respectivamente.

Quadro 8 - Condições de exclusão de conexões consoante o IDT.

Tempo de Voo, excluindo Tempo de Transferência (IDT)	Condição de Exclusão
≤ 6 horas	$IDT \geq 2 \times DTT$
> 6 horas	$IDT \geq 1,6 \times DTT$

Os valores definidos anteriormente são possíveis de verificar através de exemplos reais. Um voo tipicamente de curto curso, com origem em Ponta Delgada (PDL) e destino Londres (LHR) directo demora cerca de 3h05, no caso de existir transferência em Lisboa (LIS) o tempo de voo, excluindo o tempo de transferência, é de 4h55. Neste caso o tempo de voo indirecto é inferior ao dobro do tempo de voo directo, isto é, a possibilidade de conexão faz efectivamente sentido, sendo portanto contabilizada. Por outro lado, observando um outro caso com origem em Lyon (LYS) e destino Paris (ORY) demorando cerca de 0h30, numa hipotética situação onde se efectua transferência em Lisboa (LIS) o tempo de voo, excluindo tempo de transferência, passará a 4h55. A hipótese de transferência em Lisboa não faria de todo sentido neste último caso, uma vez que, para além dos aeroportos de origem e destino se encontrarem no mesmo país, sendo este distinto do país a efectuar transferência, a duração do voo indirecto ultrapassa o valor de duração do voo directo em mais do seu dobro. Deste

modo, esta possibilidade de conexão é inviabilizada e excluída, bem como todas as outras que verificarem a condição de exclusão definida.

Perante voos cuja duração indirecta seja superior a 6 horas, é proposta a exclusão das conexões cujo IDT seja superior a DTT na razão 1,6. Observando o exemplo do voo directo Rio de Janeiro (GIG) – Londres (LHR), correspondendo a uma duração de 11h30, quando comparado com o mesmo voo efectuando transferência em Lisboa (LIS) demorando 12h20, verifica-se que é uma conexão plausível, uma vez que a diferença de tempo de voo, excluindo tempo de transferência, cumpre a condição imposta. Por outro lado, e olhando para um caso negativo, um voo Rio de Janeiro (GIG) – Nova Iorque (JFK) que directamente demora cerca de 10h, via Lisboa (LIS) acaba por durar cerca de 17h, excluindo tempo de transferência. Deste modo, o segundo caso retratado para voos de longo curso seria claramente excluído, devido à sua razão ser superior de 1,7, ou seja, superior a 1,6, demonstrando assim o modo como o modelo rejeita ou valida determinadas conexões, filtrando apenas as conexões mais eficazes.

Uma vez que a comparação entre voos directos e indirectos depende largamente dos passageiros, ou seja, da sua tolerância à duração da viagem indirecta relativamente à directa, seria relevante estudar o comportamento dos passageiros e suas escolhas, nomeadamente através de inquéritos.

Relativamente à obtenção de dados estatísticos, módulo 5, recorreu-se à ferramenta *Data Analysis – Descriptive Statistics* do *Microsoft Excel*. Para cada aeroporto foi possível apresentar os seguintes parâmetros estatísticos correspondentes aos valores de WI de cada conexão: média, erro padrão, mediana, moda, desvio padrão, variância da amostra, curtose, assimetria, variação, mínimo, máximo, soma e contagem, isto é, número de conexões. Posteriormente, a estes dados foram agregados dados, obtidos através do ATRS¹³, de carácter operacional referentes ao ano de 2009, tais como, número de passageiros por ano, percentagem de passageiros internacionais e percentagem do *hub* pertencente à companhia dominante.

Apresenta-se nos Anexos 5 e 6 a listagem de dados estatísticos obtidos para cada um dos aeroportos em estudo, Verão e Inverno, respectivamente, e no Anexo 7 os dados operacionais obtidos através do ATRS.

3.2. Amostra de Aeroportos

Em primeiro lugar, é importante caracterizar o aeroporto de Lisboa em termos de mercado, de modo a entender o contexto em que o aeroporto se insere, para tal executou-se uma análise dos destinos existentes. O aeroporto não demonstra ter uma grande susceptibilidade a variações entre Verão e Inverno e entre partidas e chegadas em termos de destinos, tendo-se obtido a Figura 20, relativa ao mercado. Pode concluir-se que a maior fatia dos voos do aeroporto de Lisboa tem origem ou destina-se à Europa Ocidental, seguindo-se os mercados da América Latina e África Subsariana. Os valores dos dois últimos mercados referidos justificam-se sobretudo através de questões históricas, de ligação a ex-colónias portuguesas, e à língua comum, factores potenciadores de relações entre

¹³ Air Transport Research Society.

Portugal, Brasil, Angola, Moçambique, entre outros. O aeroporto de Lisboa apresenta ainda alguns voos com destino ao Norte de África, América do Norte e Europa de Leste, e mostra ainda ligações ao Médio Oriente e a Países pertencentes à ex-URSS, sendo estas muito inexpressivas. Destinos asiáticos ou regiões do Pacífico são inexistentes, devido não só às fracas relações com países dessas zonas do globo, mas também devido às distâncias envolvidas, implicando voos de ultra-longo curso que, pelo menos no ano de 2010, não se justificavam no contexto Português.

Lisboa afigura-se assim como um aeroporto potenciador de ligações entre a Europa, África e América Latina, indo esta conclusão de acordo com os resultados de mercado obtidos por Burghouwt e de Wit (2005), como se verifica em 2.4.2.1, Figura 12.

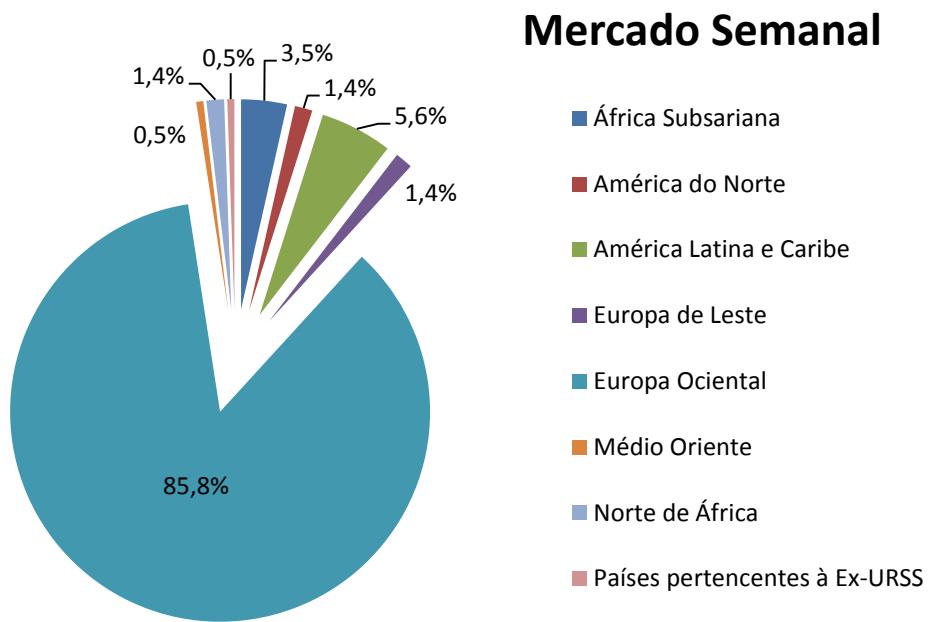


Figura 20 – Áreas de Mercado semanal no aeroporto de Lisboa.

No estudo foram avaliados 32 aeroportos, sendo que cada aeroporto é analisado para as duas épocas do ano. Uma vez que o objectivo da dissertação é a avaliação do nível de conectividade no aeroporto de Lisboa, comparando os níveis existentes com os de outros aeroportos já considerados cidade-aeroporto, a selecção da restante amostra teve por base uma lista proposta por Kasarda (2011). Deste modo os aeroportos escolhidos cumprem os critérios necessários para a atribuição destas designações, encontrando-se estes já operacionais ou ainda em fase de desenvolvimento para o ano de 2011. O conjunto de aeroportos escolhidos apresenta características muito diferentes em termos de volume de passageiros, localização e distância ao centro urbano das cidades a que pertencem, valores de receitas não-aeronáuticas, entre outros aspectos. Por essa razão, a amostra poderia ser analisada de forma mais crítica e não assumindo directamente a designação imposta pelo autor, enquanto cidade-aeroporto. Os aeroportos estudados encontram-se dispersos um pouco por todo o globo (América do Norte, Europa, Médio Oriente e Ásia/Pacífico), apresentando-se na Figura

21 a sua distribuição. No Quadro 9, encontra-se a listagem de todos os *hubs* estudados, e
respectivos códigos, localização, tipo de aeroporto, estágio de desenvolvimento, entre outros
parâmetros operacionais.



Figura 21 - Distribuição global dos aeroportos estudados.

Quadro 9 - Aeroportos em estudo.

Código IATA	Aeroportos	Aerotropolis (A) / Cidade Aeroporto (AC)	Estado (2011) Operacional (O) Em Desenvolvimento (ED)	Nº de Passageiros Anual (000) 2009
LIS	Lisbon Airport	-	-	13 278
AMS	Amsterdam Airport Schiphol	A	O	43 570
ARN	Stockholm - Arlanda Airport	A	O	16 064
ATH	Athens Internatioal Venizelos Airport	AC	O	16 226
BCN	Barcelona Airport	AC	ED	27 422
BUD	Budapest Ferihegy International Airport	AC	ED	8 095
CDG	Paris - Charles de Gaulle Airport	A	O	57 907
DUB	Dublin International Airport	AC	ED	20 504
FRA	Frankfurt International Airport	A	O	50 938
HEL	Helsinki - Vantaa Airport	A	O	12 592
LHR	London Heathrow Airport	AC	O	66 037
MAN	Manchester Airport	AC	ED	18 265
MUC	Munich International Airport	AC	O	32 681
OSL	Oslo Airport, Gardermoen	AC	ED	18 088
VIE	Vienna International Airport	AC	O	18 144
WAW	Warsaw Frederic Chopin Airport	AC	ED	8 321
ZRH	Zurich Airport	AC	O	21 927
BWI	Baltimore - Washington International Airport	A	ED	20 295
CLT	Charlotte Douglas International Airport	AC	ED	34 655
DFW	Dallas - Ft. Worth International Airport	A	O	55 927
EWR	Newark Liberty International Airport	AC	ED	34 291
IAD	Washington Dulles International Airport	A	O	23 213
LAX	Los Angeles International Airport	AC	O	56 547
STL	St. Louis - Lambert International Airport	A	ED	12 796
YVR	Vancouver International Airport	AC	O	16 177
BNE	Brisbane Airport	AC	O	19 063
DEL	Delhi Indira Gandhi International Airport	A	ED	25 670
HKG	Hong Kong International Airport	A	O	46 928
KUL	Kuala Lumpur International Airport	A	O	29 682
SIN	Singapore Changi Airport	A	O	38 611
TPE	Taiwan Taoyuan International Airport	A	ED	21 617
DXB	Dubai International Airport	A	O	40 902

3.3. Análise Geral de Resultados

Os aeroportos foram analisados segundo diversos parâmetros estatísticos e dados operacionais. Para todas as análises realizadas são apresentados os resultados para as duas épocas do ano, Verão e Inverno.

A média de WI foi o parâmetro base, sendo utilizado em todas as análises, uma vez que é este o valor que determina o nível de conectividade de um aeroporto. Numa primeira fase, os aeroportos foram agrupados segundo continentes, deste modo foi possível comparar aeroportos pertencentes ao mesmo continente relativamente ao seu nível de conectividade. Outro parâmetro tido em conta foi o desvio padrão, que demonstra a dispersão dos resultados de WI de cada aeroporto em relação à sua média. Os aeroportos foram ainda divididos segundo o seu volume de passageiros anual, em três gamas de valores diferentes, o que permitiu comparar valores de conectividade de aeroportos com semelhante volume de passageiros.

Numa fase posterior, optou-se pelo uso de gráficos de bolas, sendo que cada aeroporto é representado por bolas de diferentes cores e diâmetros, dependendo do seu desvio padrão. Em todos os gráficos deste tipo, a média das duas variáveis envolvidas foi definida como o ponto de intersecção entre os dois eixos, ordenadas e abcissas, permitindo avaliar em que aspectos o aeroporto de Lisboa se encontra acima ou abaixo da média da amostra e que aspectos podem ser melhorados. Para este tipo de gráficos, a média de WI ou qualidade da conectividade foi comparada com: dois parâmetros operacionais (ATRS) constantes para as duas semanas, percentagem de passageiros internacionais e percentagem do aeroporto pertencente à companhia dominante; e dois parâmetros operacionais obtidos a partir da metodologia usada, número de conexões e número de destinos.

3.3.1. Análise da Conectividade

Fazendo uma análise geral dos resultados e uma divisão dos aeroportos por continente, é possível observar a variação das médias de WI¹⁴. Os resultados encontram-se demonstrados nas Figura 22 e Figura 23. Os aeroportos encontram-se nas abcissas e divididos por 4 continentes, Europa, América do Norte, Ásia/Pacífica e Médio Oriente, sendo que a maioria dos aeroportos considerados se localizam na Europa. Os valores da média de WI encontram-se representados nas ordenadas, variando entre 0,096 e 0,284, no Verão, e entre 0,094 e 0,285 no Inverno, constatando-se que não há grandes variações entre as duas épocas. Estes valores correspondem respectivamente aos aeroportos STL e LHR.

Para a amostra em estudo, os resultados mais homogéneos verificam-se na Ásia/Pacífico, cujos valores se encontram entre 0,15 e 0,25. Os aeroportos do total da amostra com melhor nível de conectividade, acima de 0,25, são LHR e CDG na Europa, EWR na América do Norte e DXB no

¹⁴ Burghouwt e de Wit (2005) não fazem referência a valores máximos ou mínimos de WI, porém da expressão de WI pode concluir-se que os valores podem variar entre 0 (inexistente/muito fraca conexão) e 1 (excelente conexão).

Médio Oriente. E os de pior nível, abaixo de 0,15, ARN, ATH, BCB, BUD, OSL, VIE e WAW na Europa, e BWI, CLT, DFW e STL na América do Norte, em ambas as épocas.

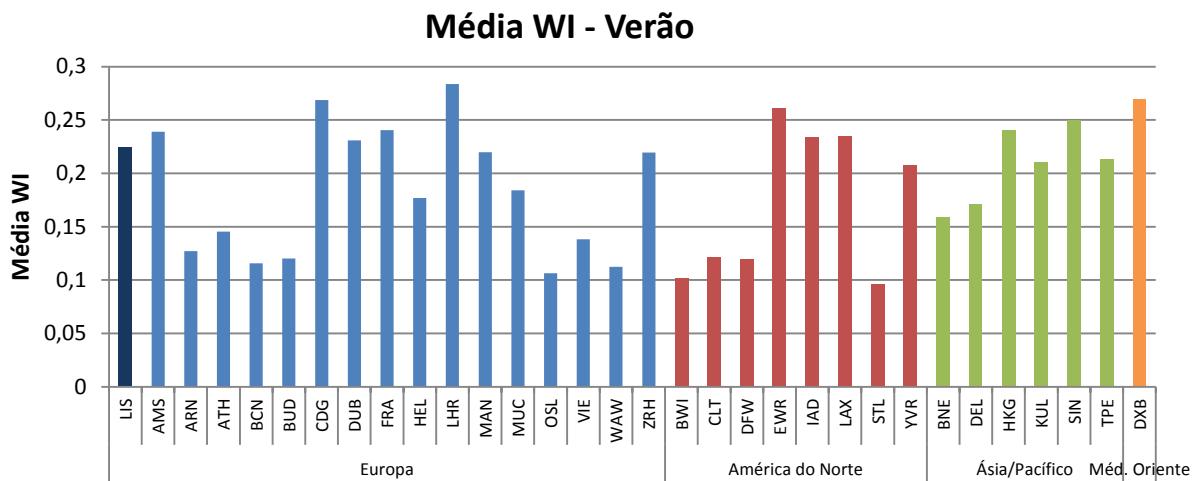


Figura 22 - Gráfico correspondente à Média de WI para a época de Verão.

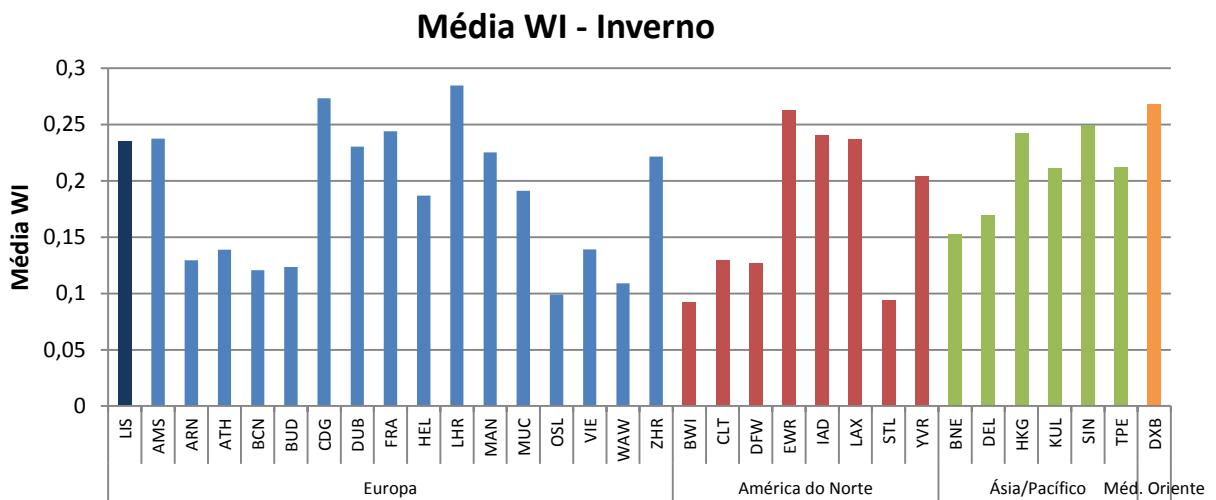


Figura 23 - Gráfico correspondente à Média de WI para a época de Inverno.

O aeroporto de Lisboa apresenta, para a época de Verão, o 6º melhor valor de média em termos Europeus, 0,224, localizando-se apenas abaixo dos aeroportos LHR, CDG, FRA, AMS e DUB. Para a época de Inverno está na 5ª posição, com 0,235, abaixo de LHR, CDG, FRA e AMS. O aeroporto de Lisboa evidencia assim elevada conectividade quando comparado com aeroportos Europeus.

Entende-se por desvio padrão a medida mais comum da dispersão estatística, mostrando a variação dos resultados em relação à média. Um baixo valor de desvio padrão indica que os dados tendem a estar próximos da média, por outro lado, um desvio padrão alto indica que os dados estão

distribuídos por uma gama de valores. Esta relação encontra-se demonstrada nos gráficos das Figura 24 e Figura 25.

Relativamente aos valores de desvio padrão obtidos para a amostra em estudo, estes são muitos semelhantes para todos os aeroportos, variando entre 0,118 e 0,178, no Verão, correspondendo aos aeroportos STL e SIN, respectivamente. No caso do Inverno, os valores variam entre 0,118 e 0,178, respectivamente BWI e ZRH. Verifica-se a existência de alguma relação entre o valor da média e o valor do desvio padrão, isto é, quando o valor da média é mais elevado, o valor do desvio padrão tende também a aumentar, havendo mais dispersão dos resultados. Quando o valor da média é menor, o valor do desvio padrão tende a diminuir, ocorrendo uma maior concentração de resultados. Contudo esta variação não é significativa encontrando-se uma alteração pouco expressiva do desvio padrão de aeroporto para aeroporto. Em suma, o desvio padrão é elevado em todos os aeroportos em ambas as épocas, verificando-se uma grande dispersão dos resultados de WI.

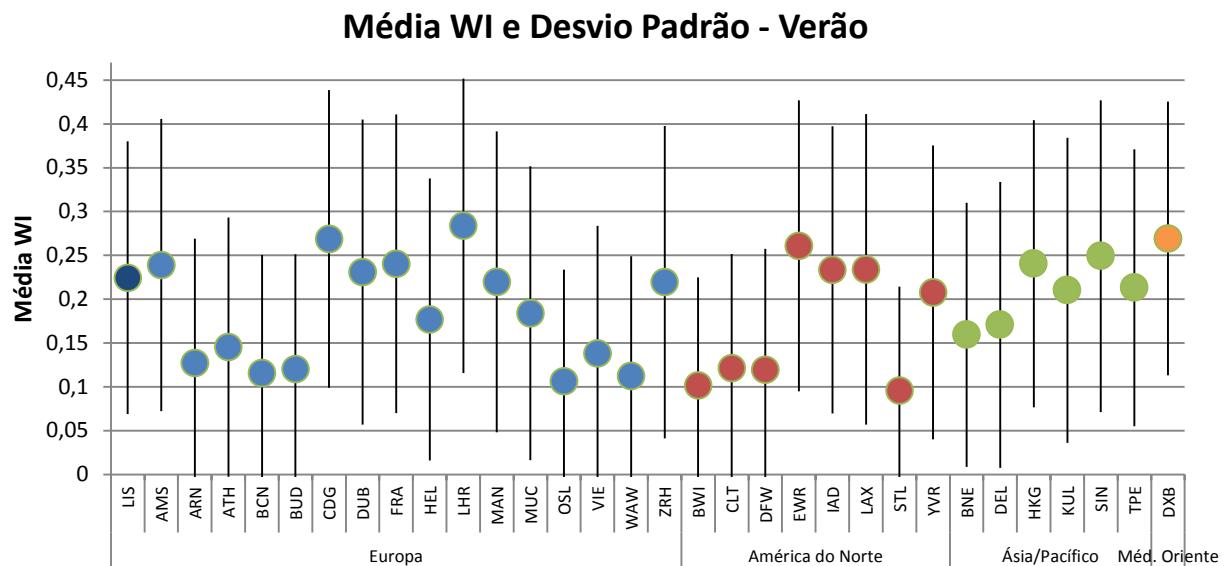


Figura 24 - Gráfico correspondente à média de WI e desvio padrão, para a época de Verão.

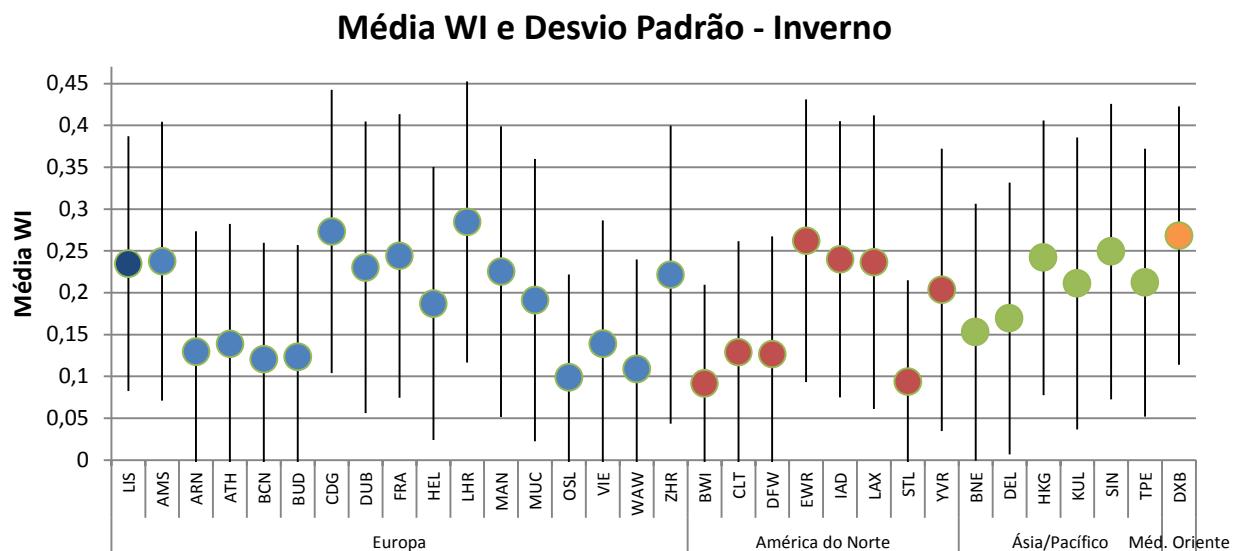


Figura 25 - Gráfico correspondente à média de WI e desvio padrão, para a época de Inverno.

O aeroporto de Lisboa apresenta um desvio padrão de 0,156, no Verão, e 0,152, no Inverno. No primeiro caso encontra-se precisamente na média geral de todos os desvios padrão e no segundo ligeiramente abaixo da média. Estes níveis de desvio padrão indicam que os valores de WI se encontram medianamente dispersos, quando comparado com os restantes aeroportos.

3.3.2. Análise do Número de Passageiros

Após uma análise geral dos valores da conectividade, far-se-á uma comparação com outros parâmetros operacionais dos aeroportos. Em primeiro lugar, tendo em conta o número de passageiros por ano, em milhões, apresenta-se uma comparação entre os aeroportos divididos em intervalos de valores, contudo estes também se encontram ordenados por ordem crescente de número de passageiros, Figura 26 e Figura 27. No Quadro 9, encontram-se os valores dos volumes de passageiros anuais.

É verificável que aeroportos com maior volume de passageiros de um modo geral tendem a possuir melhor média de WI, com excepção de alguns exemplos, tal como o aeroporto DFW, pertencente ao grupo com maior volume, ainda que apresentando uma conectividade bastante baixa. Para ambas as épocas, para o intervalo 0 - 20 milhões obteve-se uma média de todos os aeroportos de 0,15, para o intervalo seguinte 0,19 e, por fim, para o último 0,24, o que justifica a conclusão de que a média de WI tende a aumentar com o volume de passageiros. Pode ainda observar-se que os aeroportos em estudo com menor número de passageiros são Europeus, com excepção de BNE e YVR.

Média WI - Verão

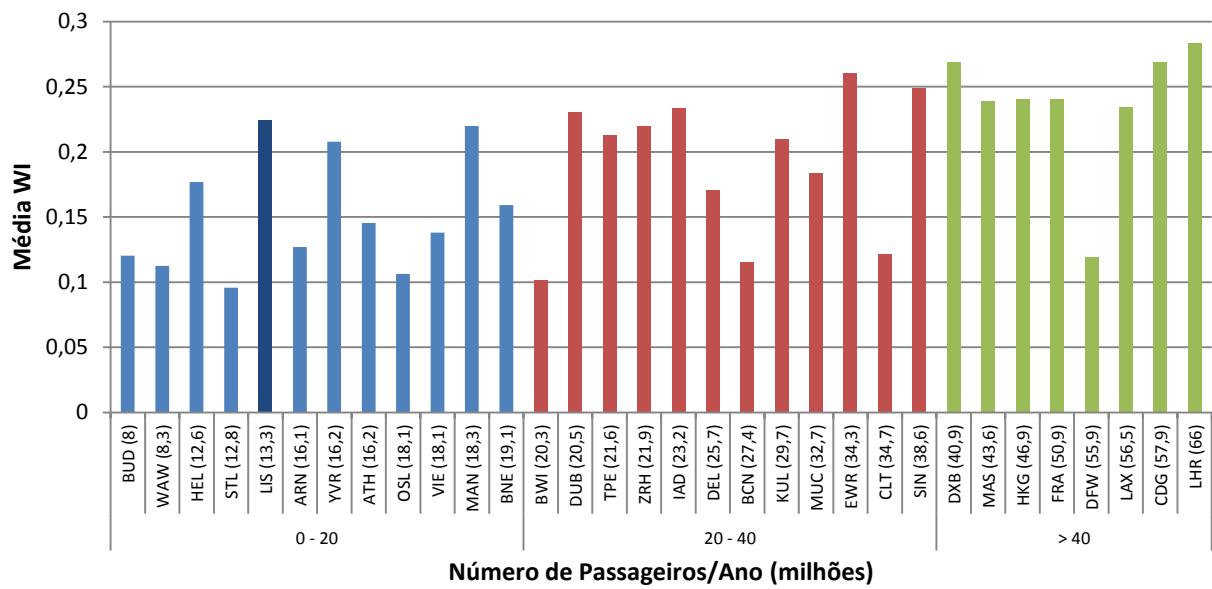


Figura 26 - Gráfico de análise da média de WI tendo em conta o número de passageiros/ano (milhões), para a época Verão.

Média WI - Inverno

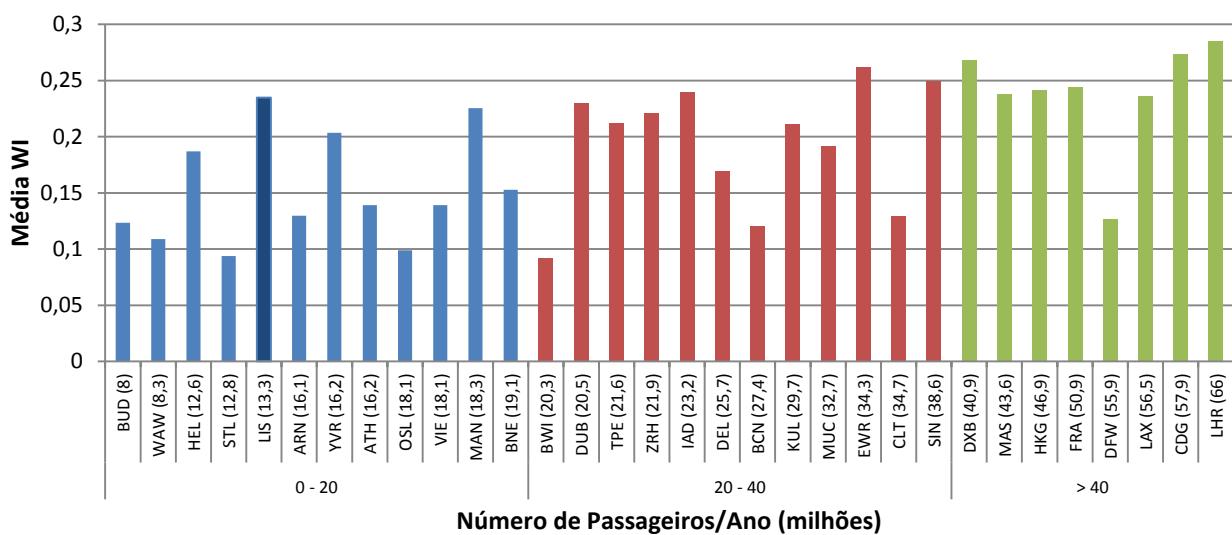


Figura 27 - Gráfico de análise da média de WI tendo em conta o número de passageiros/ano (milhões), para a época Inverno.

Considerando o caso de Lisboa, este insere-se na primeira gama de valores de volume de passageiros, mais reduzida, tendo, para o ano de 2009, cerca de 13 milhões de passageiros, ou seja, o 5º aeroporto menos frequentado. Ainda assim, apresenta o valor mais elevado de média de WI para o intervalo que lhe corresponde, em ambas as épocas. Note-se que para o mercado de aeroportos de reduzido número de passageiros, até 20 milhões por ano, o aeroporto de Lisboa apresenta excelente qualidade de conexão. Quando comparado com a globalidade dos aeroportos, Lisboa apresenta ainda assim um razoável valor de conectividade.

3.3.3. Análise do Número de Conexões

Entende-se por número de conexões, o número de combinações de pares origem-destino possíveis com transferência num determinado aeroporto, para cada uma das semanas em estudo, segundo os critérios definidos anteriormente no Quadro 7. Comparando a média de WI (ordenadas) e o número de conexões existentes em cada aeroporto (abscissas), foi possível construir os gráficos apresentados nas Figura 28 e Figura 29, respectivamente para as épocas Verão e Inverno. Cada aeroporto encontra-se representado por uma bola de cor específica. As bolas apresentam diferentes diâmetros consoante os valores de desvio padrão correspondente, mostrando a dispersão dos valores relativamente à média, como visto anteriormente. A média das duas variáveis envolvidas foi definida como o ponto de intersecção entre os dois eixos, ordenadas e abscissas, tornando-se mais evidentes as características e diferenças entre o aeroporto em questão e os restantes.

Analizando os gráficos é evidente a diferença entre os valores mais elevados de número de conexões e os valores mais reduzidos, sendo o máximo correspondente ao aeroporto LHR com 227 830, no Verão, e 229 539, no Inverno. Enquanto, o valor mínimo se verifica no aeroporto WAW, tendo 5 652 conexões, no Verão, e 5 724, no Inverno. É visível ainda que o facto de a média ser baixa não implica necessariamente que o número de conexões seja também baixo, como se observa no caso do aeroporto DFW, cuja média de WI varia entre 0,12 e 0,13, e o número de conexões se encontra acima de 200 000, um valor muito elevado. Deste modo há indicações de que a média e o número de conexões são parâmetros independentes e que um aeroporto com poucas possibilidades de conexão poderá ainda assim apresentar boa média de WI, ou seja, boa conectividade e vice-versa. Contudo, todos os aeroportos que apresentam conectividade superior a Lisboa apresentam igualmente superior volume de conexões, sugerindo que um aumento de WI signifique um aumento do número de conexões.

Análise Número de Conexões, Média WI e Desvio Padrão - Verão

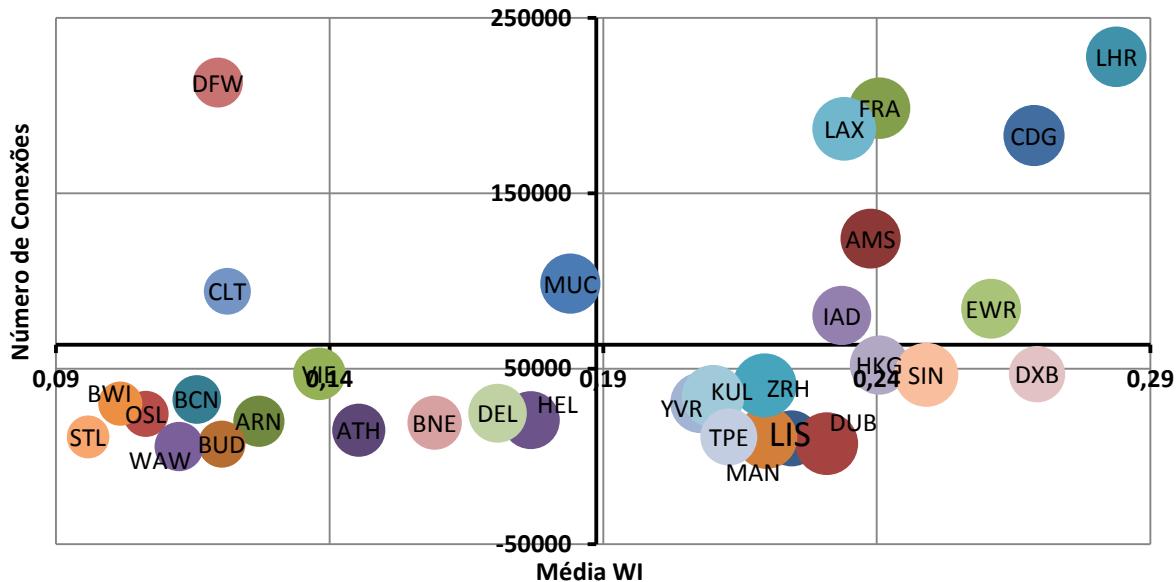


Figura 28 - Gráfico correspondente à análise do número de conexões e média de WI, tendo em conta o desvio padrão, para a época de Verão.

Análise Número de Conexões, Média WI e Desvio Padrão - Inverno

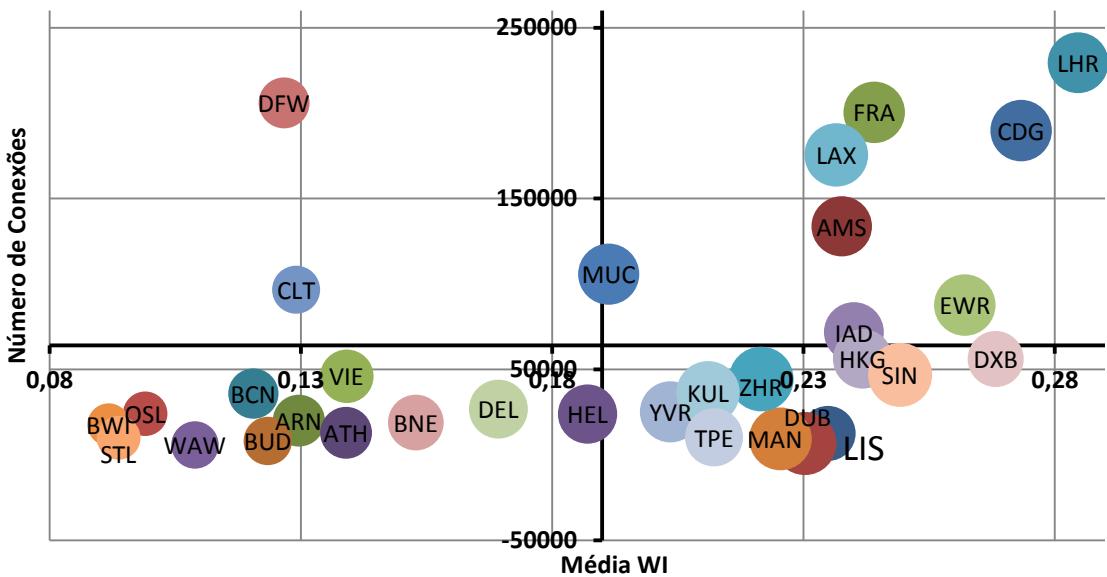


Figura 29 – Gráfico correspondente à análise do número de conexões e média de WI, tendo em conta o desvio padrão, para a época de Inverno.

O aeroporto de Lisboa enquadra-se na gama de aeroportos com menos possibilidades de conexão, 10 368 e 12 549, contudo, neste grupo de *hubs* até 40 000 conexões, Lisboa é o segundo com melhor média, 0,224 e 0,235, isto é, melhor conectividade, tendo apenas DUB pela frente. Em termos de *clusters*, Lisboa encontra-se no quadrante inferior direito com valores muito próximos de DUB e MAN, sendo que a sua conectividade é superior à média da amostra, mas em termos de número de conexões encontra-se abaixo da média da amostra.

3.3.4. Análise do Número de Destinos

Comparando a média de WI e o número de destinos existentes em cada aeroporto para cada uma das épocas, foi possível construir os gráficos apresentados nas Figura 30 e Figura 31. Tal como na análise anterior, cada aeroporto encontra-se representado por uma bola de cor específica, sendo que as bolas apresentam diferentes diâmetros consoante os valores de desvio padrão. Estabelecendo o ponto que representa a média da amostra das duas variáveis como local de intersecção entre eixos, tornam-se mais evidentes as características e diferenças entre o aeroporto em questão e os restantes.

Deste modo, da observação dos gráficos verifica-se que os valores claramente mais elevados de número de destinos, acima de 200, correspondem aos aeroportos AMS, CDG, FRA e MUC, todos eles num contexto Europeu. O valor máximo ocorre no aeroporto FRA com 266 destinos, no Verão, e 262, no Inverno. Enquanto, o valor mínimo se verifica no aeroporto STL, na América do Norte, apresentando 58 destinos, no Verão, e 57, no Inverno. A média de destinos da amostra é de 130, para o Verão, e 128, para o Inverno.

Quanto à melhor relação média de WI versus número de destinos, verifica-se que CDG se apresenta como mais equilibrado tendo de média 0,269 e 239 destinos, no Verão, e média 0,273 e 236 destinos, no Inverno. Pode ainda constatar-se que o número de destinos não é necessariamente um factor que influencie a conectividade, atentando particularmente no exemplo do aeroporto MUC que muito embora apresente mais de 200 destinos, tem um valor de conectividade baixo, uma vez que a média se encontra entre 0,18 e 0,19.

Da análise dos gráficos verifica-se que há uma grande dispersão dos resultados, ou seja, não há evidência de conjuntos de aeroportos com resultados semelhantes.

Análise Número de Destinos, Média WI e Desvio Padrão - Verão

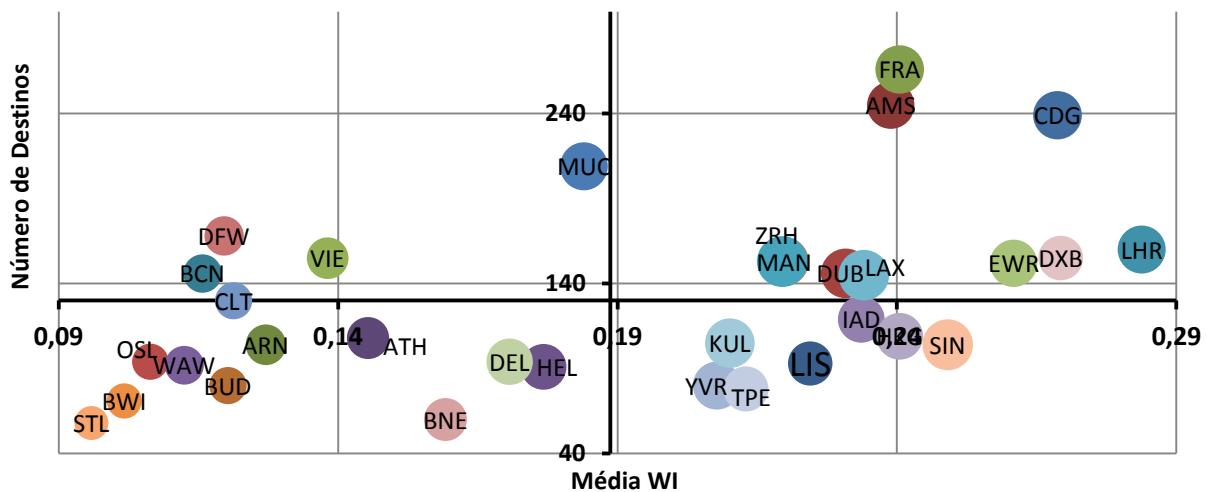


Figura 30 - Gráfico correspondente à análise do número de destinos e média de WI, tendo em conta o desvio padrão, para a época de Verão.

Análise Número de Destinos, Média WI e Desvio Padrão - Inverno

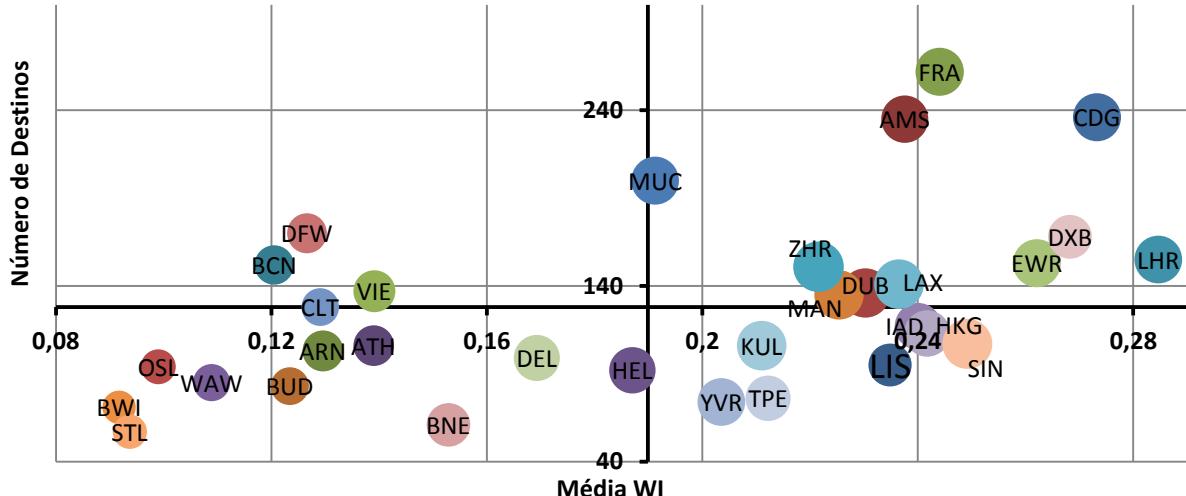


Figura 31 - Gráfico correspondente à análise do número de destinos e média de WI, tendo em conta o desvio padrão, para a época de Inverno.

Relativamente ao aeroporto em estudo, LIS, apresenta 93 e 95 destinos semanais para cada caso. Observa-se que o aeroporto de Lisboa se encontra no quadrante inferior direito (WI superior à média da amostra e número de destinos inferior à média). É ainda visível que não existem aeroportos que possuam menor variedade de destinos relativamente a Lisboa e que apresentem melhor valor de conectividade. Assim, olhando para aeroportos com semelhante número de destinos, verifica-se que Lisboa é um dos que apresenta melhor conectividade, somente HKG, IAD e SIN, apresentam uma média um pouco superior, dentro da mesma gama de variedade de destinos. Estas evidências

poderão indicar que uma melhoria de conectividade no aeroporto de Lisboa acarrete um incremento no número de destinos.

3.3.5. Análise da Percentagem de Passageiros Internacionais

Analizando a percentagem de passageiros internacionais para o ano de 2009, foi possível traçar os seguintes gráficos, Figura 32 e Figura 33. As percentagens usadas são constantes uma vez que representam dados anuais. Os aeroportos representados por bolas que se encontram com 0% de passageiros internacionais, BCN, BUD, VIE e DEL, não podem ser tidos em conta nesta análise, uma vez que não existem dados relativamente ao volume de passageiros internacionais nestes aeroportos.

Verifica-se uma relação directa entre a dimensão dos países onde se inserem os aeroportos e o número de passageiros internacionais. No caso de todos os aeroportos localizados nos Estados Unidos da América, observa-se que a percentagem em causa é muito reduzida, sendo o máximo em EWR com 31%, ou, no caso da Austrália, tendo BNE 21,5%. Isto acontece em países de grandes dimensões, que operam quase a nível continental, embora os voos sejam domésticos. Por outro lado, acontece o oposto em países ditos pequenos, a maioria localizando-se na Europa, tendo este continente uma média de percentagens de 78,2%. Estes exemplos validam a ideia de que a percentagem varia de acordo com a dimensão dos países. O aeroporto com melhor relação média de WI versus percentagem de passageiros internacionais é o aeroporto LHR, com 0,284, no Verão, e 0,285, no Inverno, com 91,8% de passageiros internacionais.

Lisboa é 11º aeroporto com maior percentagem, sobretudo devido à reduzida dimensão de Portugal, competindo com aeroportos de elevada conectividade, em ambas as épocas. Observando os quadrantes do gráfico, Lisboa encontra-se no quadrante superior direito, ou seja, possui conectividade superior à média da amostra e percentagem de passageiros internacionais também superior à média da amostra. Apenas 7 aeroportos se encontram melhor classificados no que respeita a relação de percentagem de passageiros internacionais e média de WI, no Verão, e 6 aeroportos, no Inverno. Em termos de *clusters*, Lisboa situa-se no mesmo conjunto que os seguintes aeroportos: AMS; DUB; FRA; MAN; HKG; SIN; TPE.

Os resultados decorrentes desta análise devem ser observados cuidadosamente, uma vez que são fortemente influenciado por factores geográficos que não foram considerados nos cálculos.

Análise Percentagem de Passageiros Internacionais, Média WI e Desvio Padrão - Verão

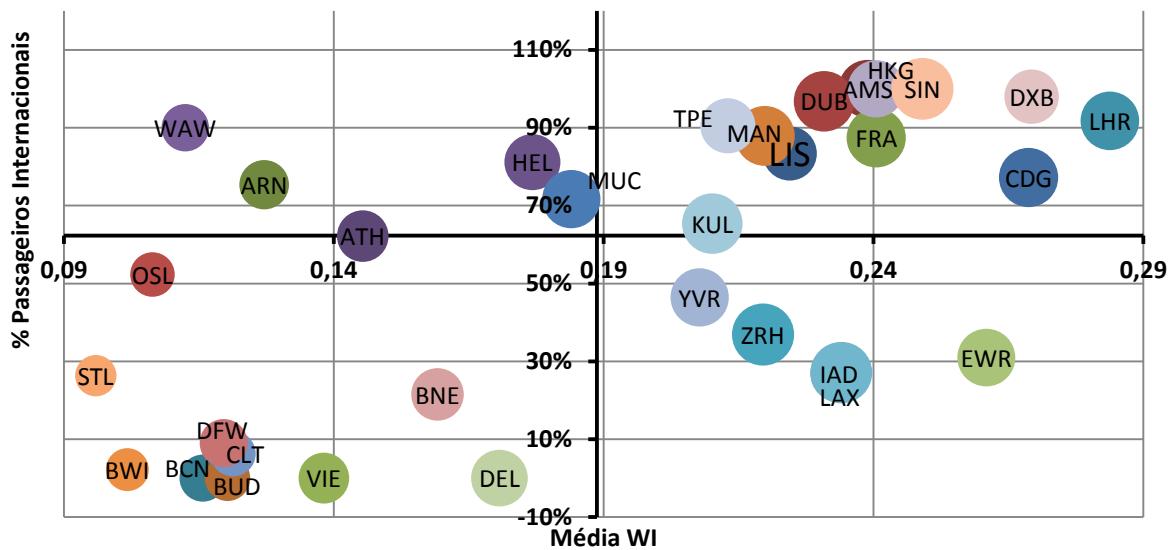


Figura 32 – Gráfico correspondente à análise de percentagem de passageiros internacionais, para a época de Verão.

Análise Percentagem de Passageiros Internacionais, Média WI e Desvio Padrão - Inverno

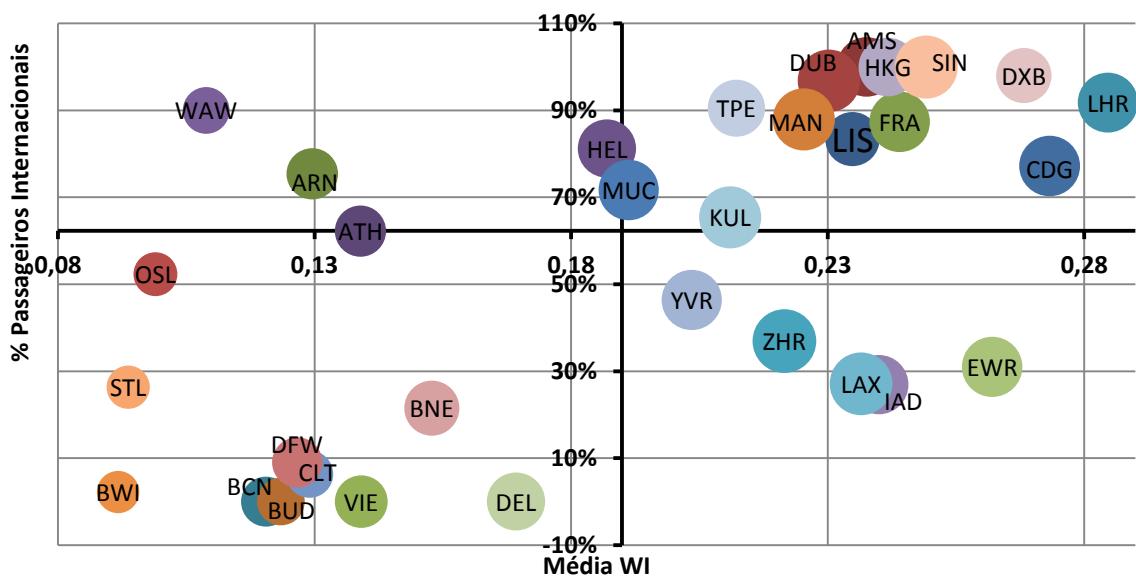


Figura 33 - Gráfico correspondente à análise de percentagem de passageiros internacionais, para a época de Inverno.

3.3.6. Análise da Percentagem da Companhia Dominante

Uma cidade-aeroporto é, tipicamente, também um *hub* de uma determinada companhia aérea, como se apresenta no Quadro 10. Alguns aeroportos tidos em conta ao longo do estudo dizem respeito a companhias dominantes do tipo *low-cost*. Este modelo de companhias, tipicamente, não se rege pelo conceito de *hub-and-spoke*. Contudo, a dissertação tem em conta todo o tipo de possibilidades de conexão, ou seja, a conexão é uma escolha do passageiro, não sendo necessariamente promovida pela mesma companhia. O conceito de *hub* considerado ao longo da dissertação pressupõe sim a existência de duas características essenciais presentes neste tipo de redes: a concentração espacial e a concentração temporal, como referido no subcapítulo 2.3.

As percentagens são constantes para as duas épocas. No caso particular de BUD e WAW a percentagem assumida foi de 0%, uma vez que não existe companhia dominante. A análise encontra-se nas Figura 34 e Figura 35, e constatou-se que a melhor relação percentagem e média se observa no caso de CDG. Não se verifica que o facto da companhia aérea dominante ser tradicional ou *low-cost*, tenha influência nos resultados. Em termos de *clusters*, os gráficos não evidenciam conjuntos de pontos bem definidos, encontrando-se os resultados bastante dispersos.

Quadro 10 - Aeroportos em estudo e respectivas companhias dominantes.

Aeroporto	Companhia Dominante	Aeroporto	Companhia Dominante
LIS	TAP-Air Portugal	ZRH	Swiss
AMS	KLM	BWI	Southwest Airlines
ARN	Scandinavian Airlines	CLT	US Airways
ATH	Olympic Air	DFW	American Airlines
BCN	Vueling Airlines	EWR	Continental Airlines
BUD	-	IAD	United Airlines
CDG	Air France-KLM	LAX	SkyWest Airlines
DUB	Aer Lingus	STL	Southwest Airlines
FRA	Lufthansa	YVR	Air Canada Jazz
HEL	Finnair	BNE	Quantas Airway
LHR	British Airways	DEL	Kingfisher Airlines
MAN	Flybe	HKG	Cathy Pacific
MUC	Lufthansa	KUL	Air Asia
OSL	Scandinavian Airlines	SIN	Singapore Airlines
VIE	Austrian Airlines Group	TPE	China Airlines
WAW	-	DXB	Emirates

Análise Percentagem da Companhia Dominante, Média WI e Desvio Padrão - Verão

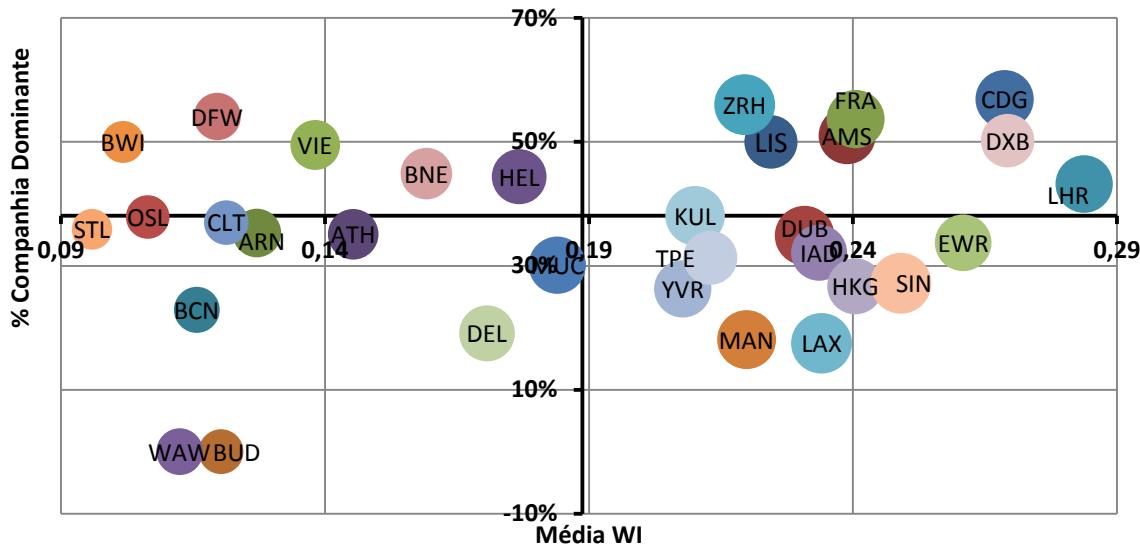


Figura 34 – Gráfico correspondente à análise da percentagem do *hub* pertencente à companhia aérea dominante, caso Verão.

Análise Percentagem da Companhia Dominante, Média WI e Desvio Padrão - Inverno

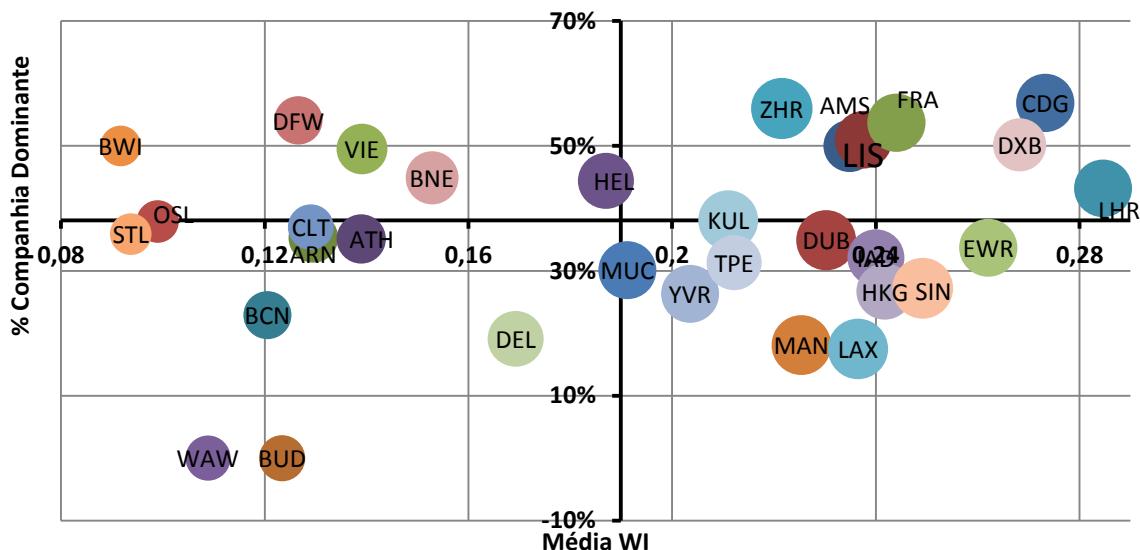


Figura 35 - Gráfico correspondente à análise da percentagem do *hub* pertencente à companhia aérea dominante, caso Inverno.

No que concerne o aeroporto de Lisboa, tendo como companhia dominante a TAP - Portugal, apenas 6 aeroportos possuem uma percentagem do *hub*, referente à companhia aérea dominante, superior, AMS, CDG, DFW, DXB, FRA e ZRH. Analisando os gráficos em termos de quadrantes, LIS apresenta-se globalmente na 5^a posição, encontrando-se no quadrante de melhor relação percentagem de companhia dominante e média de WI.

É ainda visível a existência de um conjunto de aeroportos no quadrante inferior direito, o que significa que alguns aeroportos com percentagem de companhia dominante abaixo da média apresentam elevada conectividade. Este estudo poderá evidenciar que a relevância da companhia dominante não é condição necessária para haver elevada conectividade, contudo mais estudos serão necessários de forma a corroborar esta evidência.

3.4. Discussão de Resultados

Analizando os resultados globalmente, Lisboa apresenta bom nível de conectividade, encontrando-se entre a 5^a e a 6^a posições na Europa e ainda quando comparada com a totalidade da amostra.

Relativamente ao desvio padrão, todos os aeroportos estudados apresentam valores semelhantes sendo, de um modo geral, todos eles elevados. Lisboa encontra-se na média geral de desvios padrão. De modo a entender a razão da dispersão dos valores de WI é necessário analisar cada uma das variáveis envolvidas no cálculo. Verifica-se que os valores que se encontram abaixo da média se devem a um valor muito reduzido ou mesmo nulo de TI, uma vez que a componente TI (70%) tem um peso muito superior a RI (30%) no cálculo de WI. Valores de TI muito reduzidos devem-se sobretudo a elevados valores de T_h , já que os outros intervenientes na obtenção de TI, T_j e $M_{i,j}$, são constantes que só variam consoante o tipo de voo. O T_h corresponde à diferença horária entre a hora de partida e a hora de chegada, aquando da ocorrência de conexão, isto é, corresponde ao tempo de espera no *hub*. Com vista à melhoria do valor médio de WI, os valores de T_h ou tempo de transferência teriam que ser minorados, o que só seria possível com o aumento do volume de voos ou com o incremento do número de ondas, isto é, concentrando os voos.

Observando a relação entre a média de WI e o volume de passageiros anual, verifica-se que há alguma dependência. Aeroportos com maior volume de passageiros apresentam, geralmente, melhor conectividade. Lisboa é uma exceção neste campo, tendo um volume de passageiros anual de cerca de 13 milhões, mas apresentando uma excelente conectividade quando comparado com outros aeroportos dentro da mesma gama de volume de passageiros, até 20 milhões. Há portanto indicações de que, caso o aeroporto em estudo, pretenda melhorar o seu desempenho e alcançar aeroportos de elevada conectividade, terá que crescer em termos de volume de passageiros.

Quanto à análise de número de conexões, ou seja, possibilidades de pares origem-destino semanais, verifica-se que o aeroporto de Lisboa apresenta razoável conectividade quando comparado com aeroportos com semelhante volume de conexões. Por outro lado, existe um grande distanciamento

em termos de volume relativamente a aeroportos com excelente conectividade. Lisboa terá que promover o volume de conexões, caso pretenda aproximar-se de alguns aeroportos, tais como, HKG, IAD e SIN. O volume de conexões é directamente dependente, não só do volume de voos, mas também da concentração temporal ou ondas de voos.

Em relação ao número de destinos, Lisboa apresenta razoável variedade de destinos semanais, acima de 90, e bom nível de conectividade dentro desta gama de destinos. Ainda assim, todos os aeroportos que apresentam melhor conectividade do que o aeroporto em estudo, têm superior número de destinos. Deste modo, o aeroporto de Lisboa terá que promover a variedade de destinos por forma a progredir em termos de conectividade.

Noventa por cento dos passageiros que frequentam o aeroporto de Lisboa são passageiros internacionais, o que se justifica, como visto anteriormente, sobretudo, devido à dimensão do país em que se insere. Existem muitos outros aeroportos com menor volume de passageiros internacionais que apresentam média de WI muito superior. Deste modo, este aspecto não é considerado relevante na promoção de conectividade.

Por último, a TAP, companhia aérea dominante do aeroporto de Lisboa, representa 50% do *hub*. Na amostra em estudo, é uma das companhias aéreas dominantes que possuem maior percentagem dos respectivos aeroportos. Da análise dos dados, é evidente a irrelevância deste parâmetro na melhoria da conectividade, no âmbito aeroportuário, uma vez que um elevado número de aeroportos possuem baixa percentagem de companhia dominante e excelente conectividade.

4. Conclusões

Os aeroportos ao longo do tempo, tal como outros meios de transporte, têm sido promotores do desenvolvimento de centros urbanos. Cada vez mais se tem abandonado o estigma de que os aeroportos servem apenas de meio de transferência de passageiros, bagagens e carga entre a terra-ar e vice-versa. Têm surgido novos conceitos, entre eles o conceito de cidade-aeroporto, que desenvolvem uma perspectiva da infra-estrutura, tendo por base não só os serviços fundamentais de um aeroporto, mas também as instalações, serviços e fluxos de receita não-aeronáuticos. A transformação em cidade-aeroporto depende de quatro factores essenciais, sendo um deles a conectividade.

Relembrando o tema da dissertação, o objectivo baseava-se na análise do posicionamento do aeroporto de Lisboa no processo evolutivo de transformação em cidade-aeroporto relativamente a uma propriedade específica: a conectividade. Com este intuito, foi analisada e comparada a conectividade do aeroporto de Lisboa com um conjunto de outros aeroportos referenciados como cidades-aeroporto. Depois deste processo, foi possível concluir em termos de conectividade, qual o distanciamento entre o caso de estudo e os restantes aeroportos e, assim, determinar as possibilidades de o aeroporto se vir a tornar uma cidade-aeroporto.

Inicialmente, tornou-se necessário proceder a uma revisão de literatura nas áreas essenciais ao estudo do tema em questão. O conceito de conectividade insere-se na área das redes, tendo-se elaborado uma análise dos modelos de redes existentes, modelos esses que são aplicáveis, de um modo geral, a inúmeros campos de estudo. Posteriormente, verificou-se o caso particular das redes de transporte, caracterizando-se o transporte aéreo e modelos presentes na rede correspondente, tais como *hub-and-spoke*. A conectividade é um conceito que deriva directamente do estudo das redes, sendo o parâmetro indicador da qualidade de ligação entre os vários nós. No âmbito do estado da arte, realizou-se ainda uma revisão de metodologias de avaliação de conectividade aérea usadas no passado.

A metodologia criada por Burghouwt e de Wit (2005) foi a aplicada ao caso de estudo, devido à sua qualidade, envolvendo aspectos como a coordenação temporal e espacial e sendo um modelo contínuo, isto é, devolvendo valores mais precisos, bem como a sua relativa facilidade de aplicação, uma vez que é uma medida local (apenas considerando uma transferência). Foram estabelecidas algumas alterações ao método original, como a alteração dos tempos limite de espera e a inclusão de condições de filtragem. A primeira alteração baseou-se em outros autores e a segunda numa análise de percentis de perda, consoante as condições de filtragem.

Foram avaliados 32 aeroportos, já considerados cidades-aeroporto, incluindo ainda o aeroporto de Lisboa, para duas semanas em cada uma das épocas anuais definidas pela IATA. Devido ao elevado volume de dados, tornou-se necessário efectuar um algoritmo, tendo-se recorrido ao *software – Visual Basic for Applications*. O processo de cálculo foi bastante demorado e requereu a aprendizagem de uma linguagem de programação. Foram estimadas, para cada um dos aeroportos, todas as conexões semanais possíveis, ou seja, todas as combinações de pares origem-destino,

dentro de uma determinada janela temporal, com transferência no aeroporto em análise. Para cada uma das conexões foi calculado um valor de conectividade, WI, e, posteriormente, realizados cálculos estatísticos de todos os valores de WI para cada um dos aeroportos.

Os aeroportos foram analisados segundo diversos parâmetros estatísticos e dados operacionais, tais como: a conectividade ou média de WI, o desvio padrão de WI, a conectividade consoante o volume de passageiros e continente em que se insere, e a relação entre a conectividade e o número de conexões, número de destinos, percentagem de passageiros internacionais e percentagem do aeroporto pertencente à companhia dominante. Toda a análise foi analítica, suportando-se em elementos visuais, como gráficos e quadros.

Da análise dos resultados foi possível verificar que o aeroporto de Lisboa apresenta valores de conectividade semelhantes ou enquadrados na amostra, tanto dentro da Europa como na globalidade de aeroportos considerados. Lisboa apresenta-se em 12º lugar no ranking de conectividade para a amostra estudada, na época de Verão, e em 11º lugar na época de Inverno. Numa amostra de 32 aeroportos, o aeroporto de Lisboa encontra-se assim numa posição elevada.

Tendo em conta o volume anual de passageiros, a amostra foi dividida segundo três gamas de valores, encontrando-se o aeroporto de Lisboa no conjunto de aeroportos com volume até 20 milhões de passageiros, sendo este o conjunto correspondente a menores volumes. Lisboa apresenta a melhor conectividade dentro do conjunto em que se insere, tendo contudo valores inferiores relativamente aos restantes conjuntos. Actualmente (2015), o aeroporto de Lisboa já ultrapassou a barreira dos 18 milhões de passageiros. Porém, apresenta alguns constrangimentos a nível operacional e de crescimento territorial, o que de certo modo inviabilizará a passagem a outros escalões de volume de passageiros, sobretudo acima de 40 milhões. Neste momento, prevê-se que o limite de capacidade seja aproximadamente 30 milhões anuais, o que levará ao aumento da conectividade de forma indirecta, dado o aumento de volume de voos/conexões e destinos.

O aeroporto de Lisboa apresenta valores reduzidos de número de conexões e número de destinos. Quando comparado com aeroportos semelhantes nestes aspectos, Lisboa apresenta boa conectividade. Contudo, a melhoria de conectividade poderá requerer o aumento do número de conexões e variedade de destinos.

Quanto à percentagem de passageiros internacionais e percentagem de companhia dominante, estes foram factores considerados menos relevantes depois da obtenção dos resultados da análise, uma vez que não se evidencia qualquer influência destes factores no nível de conectividade. Relativamente à percentagem de passageiros internacionais, Lisboa apresenta um valor muito elevado, sendo evidente a sua relação com a dimensão do país em que se insere, pelo que este não será um valor a alterar. Quanto à percentagem de companhia dominante, Lisboa também apresenta um valor bastante elevado quando comparado com a restante amostra. Estes parâmetros afiguram-se menos relevantes para o incremento da conectividade. No entanto, mais estudos serão necessários de forma a comprovar esta evidência.

O aeroporto de Lisboa encontra-se bastante bem posicionado relativamente à restante amostra, evidenciando que, em termos de conectividade aérea, Lisboa cumprirá os requisitos necessários para que lhe seja atribuída a designação de cidade-aeroporto.

Da aplicação da metodologia de avaliação de conectividade a uma amostra consistente, foi possível compreender o posicionamento do aeroporto de Lisboa no que se refere à conectividade. Foi ainda possível elaborar sugestões de melhoria. Como tal, poder-se-á afirmar que o objectivo da dissertação foi cumprido.

Sugerem-se ainda futuros desenvolvimentos ao tema:

- Aplicação de outras metodologias de avaliação de conectividade e comparação entre resultados obtidos;
- Utilização de dados mais recentes e comparação com os resultados obtidos nesta dissertação, para 2010, de forma a avaliar o sentido de evolução da amostra e, em particular, do aeroporto de Lisboa;
- Análise não considerando “*self-help hubbing*”, isto é, considerando apenas conexões entre voos da mesma companhia aérea ou entre companhias pertencentes à mesma aliança;
- Estudo da influência da percentagem do aeroporto pertencente à companhia aérea dominante na conectividade dos aeroportos;
- Avaliação dos restantes factores que definem uma cidade-aeroporto;
- Avaliação dos restantes tipos de conectividade, tais como ligações terrestres ao aeroporto através de outros meios de transporte, usando metodologias já existentes ou criando novas métricas.

Referências

- Amaral, L. A. N.; Scala, A.; Barthélémy, M.; Stanley, H. E. (2000) – *Classes of small-world networks*, PNAS, 97 (21), 11149-11152, 2000.
- Appold, S.; Kasarda, J. (2006) - *Airports as new urban anchors*. Frank Hawkins Kenan Institute of Private Enterprise. USA
- Arvis J.-F.; Shepherd, B. (2011) - *The Air Connectivity Index – Measuring Integration in the Global Air Transport Network*, The World Bank, Poverty Reduction and Economic Management Network, International Trade Department, Junho de 2011.
- Bagler, G. (2004) – *Analysis of the Airport Network of India as a complex weighted network*, arxiv:/cond-mat/0409773, 2004.
- Barabási, A.-L. (2002) – *Linked. The new Science of Networks*, 1^a edição, Perseus Publishing, Cambridge – Estados Unidos da América, 2002, ISBN 0738206679.
- Barabási, A.-L.; Albert, R. (1999) – *Emergence of scaling in random networks*, Science 286, 509-512.
- Berry, S; Carnall, M.; Spiller, P. (1996) – *Airline hubs: costs, mark-ups and the implications of customer heterogeneity*, NBER Working paper, 5561.
- Blanton, W. (2004) - *On the Airfront*, Planning, 70 (5), 34-36.
- Bootsma, P. (1997) – *Airline Flight Schedule Development*, Elinkwijk B.V. Utrecht.
- Budde, A.; de Wit, J.; Burghouwt, G. (2008) – *Borrowing from behavioural science: a novel method for the analysis of indirect temporal connectivity at airport hubs*, Air Transport Research Society Conference, June 2008, Athens.
- Burghouwt, G.; Huys, M. (2003) – *Deregulation and the Consequences for Airport Planning in Europe*, disP – The Planning review, 154, 37-44.
- Burghouwt, G.; de Wit, J. (2005) – *Temporal configuration of airline networks in Europe*, Journal of Air Transportation, 11 (3), 185-198.
- Burghouwt, G.; Veldhuis, J. (2006) – *The competitive position of hub airports in the Transatlantic market*, Journal of Air Transportation, 11 (1), 1071-30.
- Burghouwt, G. (2007) – *Airline network development in Europe and its implications for airport planning*, Ashgate, UK.
- Burghouwt, G. (2010) – *Entrevista pessoal por Mauro Peneda*, SEO, March 10, 2010, Amsterdam.

Burghouwt, G.; Redondi, R. (2013) – *Connectivity in air transport networks: an assessment of models and applications*, Journal of Transport Economics and Policy, 47 (1), 35-53, Janeiro 2013.

Button, K.; Lall, S. (1999) - *The economics of being an airline hub city*, Research in Transport Economics, 5, 75-106.

Button, K. (2002) – *Debunking some common myths about airport hubs*, Journal of Air Transport Management, 8, 177-188.

Christofides, N. (1975) – *Graph theory: na algorithmic approach*, 1^a edição, Academic Press, New York - Estados Unidos da América, 1975, ISBN 0121743500.

Conrath, E.; Arndt, A.; Zoch, A. (2008) – *Does size matter? The importance of airports in the European and German air transport network*, Air Transport Research Society Conference, June 2008, Athens.

Conway, H. (1980) – *The Airport City: Development Concepts for the 21st Century*, Conway Publications, Atlanta.

Correia, M.; Silva, A. (2015) – *A review of airport concepts and their applicability to the new Lisbon Airport process*, Revista Portuguesa de Estudos Regionais, 38 (1), 47-58.

Danesi, A. (2006) – *Spatial concentration, temporal co-ordination and profitability of airline hub-and-spoke networks*, Ingneria dei Transporti, Bologna, Universita degli Studi di Bologna.

Dempsey, P.; Gesell, L. (1997) – *Airline Management: Strategies for the 21st Century*, Coast Aire Publications.

Dennis, N. (1994a) – *Scheduling strategies for airline hub operations*, Journal of Air Transport Management, 1 (2), 131-144.

Dennis, N. (1994b) – *Airline hub operations in Europe*, Journal of Transport Geography, 2 (4), 219-233.

Dennis, N. (1998) – *Competition between Hub Airports in Europe and A Methodology for Forecasting Connecting Traffic*, 8th World Conference on Transport Research, Antwerp.

Dennis, N. (2005) – *Industry consolidation and future airline network structures in Europe*, Journal of Air Transport management, 11, 175-183.

Doganis, R.; Dennis, N. (1989) – *Lessons in hubbing. Airline Business*, Março 1989, pp- 42-47.

Doganis, R. (1992) – *The Airport Business*, Routledge, London, ISBN 0415081173.

Doganis, R. (2002) – *Flying Off Course. The Economics of International Airlines*, Routledge, London, ISBN 0415447372.

Doganis, R. (2006) – *The Airline Business*, Routledge, London, ISBN 0415346142.

Erdős, P.; Rényi A. (1960) – *On the evolution of random graphs*. Publications of the Mathematical Institute of the Hungarian Academy of Sciences 5, 17-61.

Finavia (2004) - *The Civil Aviation Administration Annual Report*, Finland.

Frank, H.; Frisch, I. (1971) – *Communication, Transmission and Transportation Networks*, 1^a edição, Addison-Wesley Publishing Company, Estados Unidos da América, 1971.

Fraport (2007) – *Frankfurt Airport City Development, Presentation*, Germany.

Guida, M.; Funaro, M. (2007) – *Topology of the Italian airport network: a scale-free network with a fractal structure?*, Chaos, Solitons & Fractals, 31 (3), 527-536, 2007.

Guimerà, R.; Mossa, S.; Turtschi, A.; Amaral, L. A. N. (2005) – *The worldwide air transportation network: anomalous centrality, community structure and cities' global roles*, PNAS, 102 (22), 7794-7799, 2005.

Güller, M.; Güller, M. (2003) – *From Airport to Airport City*, Editorial Gustavo Gili, Barcelona.

Hartmann A.; Weigt M. (2005) - *Phase Transitions in Combinatorial Optimization Problems*, 1^a edição, Wiley VCH, Weinheim – Alemanha, 2005, ISBN 3527404732.

IATA (2000) – *Global Airport Connectivity Monitor*, IATA/Hague Consulting Group.

Irwin, M. D.; Kasarda, J. D. (1991) – *Air passenger linkages ad employment growth in U.S. metropolitan áreas*, American Sociological Review, 56 (4), 524-537.

Ivy, R. J. (1993) – *Variations in hub service in the US domestic air transportation network*, Journal of Transport Geography, 1 (4), 211-218.

Ivy, R. J.; Fik, T. J.; Malecki, E. J. (1995) – *Changes in air service connectivity and employment*, Environment and Planning A, 27, 165-179.

Jenkinson, L.; Simpkin, P.; Rhodes, D. (1999) – *Civil Jet Aircraft Design*, 1^a edição, Butterworth-Heinemann, 1999, ISBN 9780340741528.

Kanafani, A.; Ghobrial, A. (1985) – *Airline hubbing: some implications for transport economics*, Transport Research A, 19 (1),15-27.

Karinthy, F. (1929) - *Chains. Em Everything is Different*. Budapest.

Kasarda, J. (1991) - *An industrial/aviation complex for the future*, Urban Land, 16-20.

Kasarda, J. (2008) – *Airport Cities: The Evolution. The transformation of airports into worldclass airport cities*, Insight Media, London.

Kasarda, J. (2010) – *Airport Cities and the Aerotropolis: The Way Forward. Global Airport Cities*, Insight Media, London.

Kasarda, J. (2011) - *Aerotropolis and Airport Cities listed*, www.aerotropolis.com.

Kreutel (2010) – *Entrevista pessoal por Mauro Peneda*, Fraport, March 9, Frankfurt.

Latora, V.; Marchiori, M. (2001) – *Efficient behavior of small-world networks*, Physical Review Letters, 87 (19), 1-4, 198701, 2001.

Li, W.; Cai, X. (2004) – *Statistical analysis of the airport network of China*, Physical Review E 69, 1-6, 046106, 2004.

Lijesen, M. (2002) – *Traveller preferences in civil aviation, a stated preference pilot survey*, CPB Netherlands Bureau for Economic Policy Analysis Seminar, The Hague.

Newman, M.; Barabási, A.-L.; Watts, D. J. (2006) – *The Structure and Dynamics of Networks*, 1^a edição, Princeton University Press, Princeton – Estados Unidos da América, 2006, ISBN 0691113572.

Newman, M. (2010) – *Networks: an introduction*, 1^a edição, Oxford University Press, New York – Estados Unidos da América, 2010, ISBN 0199206651.

Malighetti, P.; Paleari, S.; Redondi R. (2008) – *Connectivity of the European airport network: "Self-help hubbing" and business implications*, Journal of Air Transport Management, 14, 53-65, 2008

Matsumoto, H.; Veldhuis, J.; de Wit, J.; Burghouwt, G. (2008) – *Network performance, hub connectivity potential and competitive position of primary airports in Asia/Pacific region*, Air Transport Research Society Conference, June 2008, Athens.

Milgram, S. (1977) – *The small world problem*.In: Milgram, S., Sabini, J. (Eds.), *The Individual in a Social World: Essays and Experiments*. Addison-Wesley, Reading, MA, pp. 281-295, 1977.

O'Kelly, M. E.; Miller, H. (1994) – *The hub network design problem: a review and synthesis*, Journal of Transport Geography, 2 (1), 31-40.

O'Kelly, M. E. (1998) – *A geographer's analysis of hub-and-spoke networks*, Journal of Transport Geography, 6 (3), 171-186.

Paleari, S.; Redondi, R.; Malighetti, P. (2010) – *A comparative study of airport connectivity in China, Europe and US: Which network provides the best service to passengers?*, Transportation Research Part E, 46, 198-210, 2010.

Pearce, B. (2007) - *Investing in Air Transport Connectivity to Boost National Productivity and Economic Growth*, In J. Blanke and T. Chiesa ed. The Travel and Tourism Competitiveness Report 2007: Furthering the Process of Economic Development. Davos: World Economic Forum.

Peneda, M. (2010) - *Factores Críticos para o Desenvolvimento de Cidades-Aeroporto*, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Sistemas Complexos de Infraestruturas de Transportes, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa.

Recuero, R. C. (2004) - *Redes sociais na Internet: Considerações iniciais*, IV Encontro dos Núcleos de Pesquisa da XXVII INTERCOM, Setembro 2004, Porto Alegre/RS.

Reynolds-Feighan, A. (2001) – *Traffic distribution in low-cost and full-service carrier networks in the US air transportation market*, Journal of Air Transport Management, 7, 265-276.

Rodrigue, J.-P. (2013) – *The geography of transport systems*, 3^a edição, Routledge, New York, 2013, ISBN 0415822541.

Schaafsma, M. (2005) – *Airport & City*. Presentation. Utrecht, 17 November 2005.

Schaafsma, M.; Amkreutz, J.; Güller, M. (2008) – *Airport and City. Airport Corridors: Drivers of Economic Development*, Schiphol Real Estate, Amsterdam.

Song, W.; Ma, Y. (2006) – *Hub-and-Spoke system in air transportation and its implications to regional economic development – A case study of United States*, Chinese Geographical Science, 16 (3), 211-216.

Sousa, M. M.; Nunes, E. A. (2007) - Aviação Civil nos Estados Unidos: Um Estudo sobre o Papel do Estado na Regulação do Sector Aéreo. Documento de Trabalho, n. 71, Observatório Universitário. Rio de Janeiro, RJ.

Szabó, D. (2012) – *Game theoretical analysis of the emergence of complex networks*, Projecto de Pesquisa, BME.

Teodorovic, D. (1986) – *Transportation Networks: A Quantitative Treatment*, Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam, 1986, ISBN 0677213808.

UNCTAD, (2007) - Transport Newsletter No. 36. Geneva: UNCTAD.

Van Tol (2010) – *Entrevista pessoal por Mauro Peneda*, NACO, March 11, Den Haag.

Van Wijk, M. (2010) – *Entrevista pessoal por Mauro Peneda*, SADC, March 11, Schiphol.

Veldhuis, J. (1997) – *The competitive position of airline networks*, Journal of Air Transport Management, 3 (4), 181-188.

Veldhuis, J.; Kroes, E. (2002) – *Dynamics in relative network performance of the main European hub airports*, European Transport Conference, Cambridge.

Watts, D. J.; Strogatz, S. H. (1998) – *Collective dynamics of 'small-world' networks*, Nature 393, 440-442.

Watts, D. J. (1999) – *Small worlds*, Princeton University Press, Princeton – Estados Unidos da América.

Wojahn, O. (2001) – *Airline hub congestion and welfare*, International Journal of Transport Economics, 28 (3), 307-324.

ANEXO 1 – Módulo 1, Código VBA (Exemplo)

```
Sub TRANSFER()
'INPUTS
'NUMERO DE LINHAS NAS FOLHAS ARRIVAL E DEPARTURE
TOTAL_LINHAS_ARRIVAL = 2125: TOTAL_LINHAS_DEPARTURE = 2114
Origem = "ARN"
'TEMPOS MAX E MIN DE TRANSFERENCIA [h]
'1=curto-curso/curto-curso
'2=curto-curso/longo-curso
'3=longo-curso/longo-curso
TMIN_TRANSF1 = 0.75: TMAX_TRANSF1 = 2
TMIN_TRANSF2 = 1: TMAX_TRANSF2 = 3
TMIN_TRANSF3 = 1: TMAX_TRANSF3 = 4
'-----
'COPIA CABECALHO
Worksheets(1).Range("A1:H1").Copy Worksheets(3).Range("A1")
Worksheets(2).Range("A1:H1").Copy Worksheets(3).Range("I1")
'PRIMEIRA E ULTIMA LINHA SÃO RELATIVOS ÁS LINHAS DO DEPARTURE QUE VAO SER COPIADAS
PRIMEIRA_LINHA = 2
'CICLO ARRIVAL
For PONTEIRO_ARRIVAL = 2 To TOTAL_LINHAS_ARRIVAL
    'SEMPRE QUE ANALISAMOS UM NOVO ARRIVAL ESTA VARIAVEL FICA TRUE
    NOVO_ARRIVAL = True
    ARRIVAL_TIME = Worksheets(1).Range("H" & PONTEIRO_ARRIVAL)
    'INTERVALOS DE BUSCA: AVALIA O MENOR TEMPO MINIMO DE TRANSF E O MAIOR TEMPO MAXIMO DE TRANSF
    TEMPO_MINIMO_BUSCA = ARRIVAL_TIME + TMIN_TRANSF1: TEMPO_MAXIMO_BUSCA = ARRIVAL_TIME + TMAX_TRANSF3
    p = Worksheets(1).Range("E" & PONTEIRO_ARRIVAL).Value
    duracao1 = Hour(p) + Minute(p) / 60
    'CICLO DEPARTURE
    For PONTEIRO_DEPARTURE = 2 To TOTAL_LINHAS_DEPARTURE
        'VERIFICA SE PODE COMEÇAR O CICLO DEPARTURE MAIS À FREnte E ASSIM POUPAR TEMPO
        If INICIO_PROXIMO_ARRIVAL > 2 And NOVO_ARRIVAL Then PONTEIRO_DEPARTURE = INICIO_PROXIMO_ARRIVAL
        q = Worksheets(2).Range("D" & PONTEIRO_DEPARTURE).Value
        duracao2 = Hour(q) + Minute(q) / 60
        If duracao1 <= 5 And duracao2 <= 5 Then TMIN_TRANSF = TMIN_TRANSF1: TMAX_TRANSF = TMAX_TRANSF1
        If duracao1 <= 5 And duracao2 > 5 Then TMIN_TRANSF = TMIN_TRANSF2: TMAX_TRANSF = TMAX_TRANSF2
        If duracao1 > 5 And duracao2 <= 5 Then TMIN_TRANSF = TMIN_TRANSF2: TMAX_TRANSF = TMAX_TRANSF2
        If duracao1 > 5 And duracao2 > 5 Then TMIN_TRANSF = TMIN_TRANSF3: TMAX_TRANSF = TMAX_TRANSF3
        'CALCULO DO INTERVALO DE TEMPO ADMISSIVEL PARA ESTE ARRIVAL
        TMIN = ARRIVAL_TIME + TMIN_TRANSF: TMAX = ARRIVAL_TIME + TMAX_TRANSF
        DEPARTURE_TIME = Worksheets(2).Range("A" & PONTEIRO_DEPARTURE)
        'VERIFICA QUANDO ESTÁ ABAIXO DO TEMPO ACEITAVEL E GUARDA A ULTIMA LINHA ONDE ACEITOU
        'PARA SER USADO NO PROXIMO ARRIVAL COMO INICIO DO CICLO
```

```

If DEPARTURE_TIME < TEMPO_MINIMO_BUSCA Then
    INICIO_PROXIMO_ARRIVAL = PONTEIRO_DEPARTURE
    PRIMEIRA_LINHA = PONTEIRO_DEPARTURE + 1           '+1 PORQUE PRETENDEMOS NÃO ESTA LINHA A
PROXIMA
End If
'VERIFICA SE RESPEITA INTERVALO DE TEMPO ACEITAVEL
If DEPARTURE_TIME >= TMIN And DEPARTURE_TIME <= TMAX Then
    TRANSFER_NUMBER = TRANSFER_NUMBER + 1 'NUMERO DE TRANSFERENCIAS
    PONTEIRO_CONNECTIONS = TRANSFER_NUMBER + 1 'NUMERO DE TRANSFERENCIAS MAIS O CABEÇALHO
'COPIA A LINHA DO ARRIVAL TODAS AS VEZES QUE O HÁ UM DEPARTURE DENTRO DO INTERVALO
    Worksheets(1).Range("A" & PONTEIRO_ARRIVAL & ":" & "H" & PONTEIRO_ARRIVAL).Copy
    Worksheets(3).Range("A" & PONTEIRO_CONNECTIONS)

'COPIA A LINHA DO DEPARTURE TODAS AS VEZES QUE O HÁ UM DEPARTURE DENTRO DO INTERVALO
    Worksheets(2).Range("A" & PONTEIRO_DEPARTURE & ":" & "H" & PONTEIRO_DEPARTURE).Copy
    Worksheets(3).Range("I" & PONTEIRO_CONNECTIONS)

End If
'VERIFICA QUANDO PASSA INTERVALO DE TEMPO ACEITAVEL E PÁRA CICLO
If DEPARTURE_TIME > TEMPO_MAXIMO_BUSCA Then Exit For
'SEMPRE QUE ACABAMOS UM DEPARTURE ESTA VARIÁVEL FICA FALSE
    NOVO_ARRIVAL = False
Next
Next
End Sub

```

ANEXO 2 – Módulo 2, Código VBA (Exemplo)

```
Sub distanciagrandecirculo_origem_destino()
ultimalinha = 51303
'Código do Hub, a definir no início
h = "ARN"
Worksheets(3).Range("R" & 1) = "DistanciaOD"
For x = 2 To ultimalinha
    a = Worksheets(3).Range("C" & x).Value
    d = Worksheets(3).Range("N" & x).Value
    a_codigo = WorksheetFunction.VLookup(a, Worksheets(4).Range("B:D"), 1, False)
    a_latitude = WorksheetFunction.VLookup(a, Worksheets(4).Range("B:D"), 2, False)
    a_longitude = WorksheetFunction.VLookup(a, Worksheets(4).Range("B:D"), 3, False)
    d_codigo = WorksheetFunction.VLookup(d, Worksheets(4).Range("B:D"), 1, False)
    d_latitude = WorksheetFunction.VLookup(d, Worksheets(4).Range("B:D"), 2, False)
    d_longitude = WorksheetFunction.VLookup(d, Worksheets(4).Range("B:D"), 3, False)

    If a_codigo = d_codigo Then
        Distancia = 0
        Worksheets(3).Range("R" & x) = Distancia
        End If

        If Not a_codigo = d_codigo Then
            latitude1 = a_latitude
            latitude2 = d_latitude
            longitude1 = a_longitude
            longitude2 = d_longitude
            p = 90
            AOB = p - latitude1
            AOC = p - latitude2
            BOCpolar = Val(longitude2) - Val(longitude1)
            If BOCpolar < 0 Then BOCpolar = -BOCpolar
            a = Cos(WorksheetFunction.Radians(AOB))
            b = Cos(WorksheetFunction.Radians(AOC))
            c = Cos(WorksheetFunction.Radians(BOCpolar))
            d = Sin(WorksheetFunction.Radians(AOB))
            e = Sin(WorksheetFunction.Radians(AOC))
            CosBOCtrue = a * b + c * d * e
            ArcCos = WorksheetFunction.Acos(CosBOCtrue)
            ArcCosDegrees = WorksheetFunction.Degrees(ArcCos)
            BOCtrue = ArcCosDegrees

            ' Convert degrees to nm
            Gcd = BOCtrue * 60
            ' Conver nm (nautical miles) to km, 1nm=1.852 km
            Distancia = Gcd * 1.852
            Worksheets(3).Range("R" & x) = Distancia
            End If
            Next
        End Sub
```

ANEXO 3 - Módulo 3, Código VBA (Exemplo)

```

Sub WNX()
    ultimalinha = 51303
    velocidade = 805
    Worksheets(3).Range("AC1") = "WNX"
    Worksheets(3).Range("T1") = "Th"
    Worksheets(3).Range("U1") = "Tj"
    Worksheets(3).Range("V1") = "Mi,j"
    Worksheets(3).Range("W1") = "TI"
    Worksheets(3).Range("X1") = "IDT"
    Worksheets(3).Range("Y1") = "DTT"
    Worksheets(3).Range("Z1") = "R"
    Worksheets(3).Range("AA1") = "RI"
    Worksheets(3).Range("AB1") = "WI"

    For x = 2 To ultimalinha
        'Cálculo do Th (tempo de transferência)
        Worksheets(3).Range("T" & x).Value = Worksheets(3).Range("I" & x).Value - Worksheets(3).Range("H" & x).Value
        'Tempo de voo real
        a = Val(Hour(Worksheets(3).Range("E" & x)))
        b = Val(Minute(Worksheets(3).Range("E" & x))) / 60
        c = Val(Hour(Worksheets(3).Range("L" & x)))
        d = Val(Minute(Worksheets(3).Range("L" & x))) / 60
        Worksheets(3).Range("X" & x) = a + b + c + d
        'Tempo de voo directo estimado pelo grande círculo
        Distancia = Worksheets(3).Range("R" & x)
        Worksheets(3).Range("Y" & x) = (Distancia / velocidade)
        'Cálculo de TI
        Th = Worksheets(3).Range("T" & x).Value
        TMIN_TRANSF1 = 0.75
        TMAX_TRANSF1 = 2
        TMIN_TRANSF2 = 1
        TMAX_TRANSF2 = 3
        TMIN_TRANSF3 = 1
        TMAX_TRANSF3 = 4
        p = Worksheets(3).Range("E" & x).Value
        duracao1 = Hour(p) + Minute(p) / 60
        q = Worksheets(3).Range("L" & x).Value
        duracao2 = Hour(q) + Minute(q) / 60
        If duracao1 <= 5 And duracao2 <= 5 Then
            Mij = TMIN_TRANSF1
            Tj = TMAX_TRANSF1
            End If
            If duracao1 <= 5 And duracao2 > 5 Then
                Mij = TMIN_TRANSF2
                Tj = TMAX_TRANSF2
                End If
                If duracao1 > 5 And duracao2 <= 5 Then
                    Mij = TMIN_TRANSF2
                    Tj = TMAX_TRANSF2
                    End If
                    If duracao1 > 5 And duracao2 > 5 Then
                        Mij = TMIN_TRANSF3
                        Tj = TMAX_TRANSF3
                        End If
                        Worksheets(3).Range("U" & x) = Tj
                        Worksheets(3).Range("V" & x) = Mij
                        T = Tj - Mij
                        If Th > T Then TI = 0
                        If Th < T Then
                            TI = 1 - Th * (1 / (Tj - Mij))
                            End If
                            Worksheets(3).Range("W" & x) = TI
                            'Cálculo de R
                            IDT = Worksheets(3).Range("X" & x).Value
                            DTT = Worksheets(3).Range("Y" & x).Value
                            If DTT > 0 Then
                                R = IDT / DTT
                                Worksheets(3).Range("Z" & x) = R
                                'Cálculo de RI
                                If R > 1.4 Then RI = 0
                                If R >= 1 And R <= 1.4 Then
                                    RI = 2 - R
                                    End If
                                    Worksheets(3).Range("AA" & x) = RI
                                    WI = (2.4 * TI + RI) / 3.4
                                    Worksheets(3).Range("AB" & x) = WI
                                    End If
                                    Next
                                    End sub

```

ANEXO 4 – Módulo 4, Código VBA (Exemplo)

```
Sub WIcorrigido()
    ultimalinha = 51303

    For x = 2 To ultimalinha
        Worksheets(3).Range("AC1") = "WIcorrigido"
        Origem = Worksheets(3).Range("C" & x)
        Destino = Worksheets(3).Range("N" & x)
        IDT = Worksheets(3).Range("X" & x)
        DTT = Worksheets(3).Range("Y" & x)

        If IDT <= 6 Then
            If IDT >= 2 * DTT Then
                WI = ""
                Worksheets(3).Range("AC" & x) = WI
            Else
                WI = Worksheets(3).Range("AB" & x)
                Worksheets(3).Range("AC" & x) = WI
            End If
        End If

        If IDT > 6 Then
            If IDT >= 1.6 * DTT Then
                WI = ""
                Worksheets(3).Range("AC" & x) = WI
            Else
                WI = Worksheets(3).Range("AB" & x)
                Worksheets(3).Range("AC" & x) = WI
            End If
        End If

        Next
    End Sub
```

ANEXO 5 – Dados Estatísticos - Verão

Aeroporto	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Nº Conexões	Média + DV	Média - DV
LIS	0,224	0,235	0,156	0	0,700	10368	0,380	0,069
AMS	0,239	0,248	0,167	0	0,763	124207	0,406	0,072
ARN	0,127	0,094	0,142	0	0,631	20098	0,269	-0,015
ATH	0,145	0,141	0,148	0	0,639	14966	0,293	-0,002
BCN	0,116	0,047	0,135	0	0,694	32472	0,251	-0,019
BUD	0,120	0,047	0,131	0	0,574	6954	0,251	-0,011
CDG	0,269	0,262	0,170	0	0,762	182995	0,439	0,099
DUB	0,231	0,233	0,174	0	0,757	7355	0,405	0,057
FRA	0,241	0,247	0,170	0	0,761	198582	0,411	0,070
HEL	0,177	0,188	0,161	0	0,639	20626	0,338	0,016
LHR	0,284	0,261	0,168	0	0,763	227830	0,452	0,116
MAN	0,220	0,228	0,172	0	0,697	10572	0,392	0,048
MUC	0,184	0,188	0,168	0	0,738	98581	0,352	0,016
OSL	0,106	0,047	0,127	0	0,614	24284	0,234	-0,021
VIE	0,138	0,094	0,146	0	0,646	47021	0,284	-0,008
WAW	0,112	0,047	0,136	0	0,615	5652	0,249	-0,024
ZRH	0,220	0,231	0,178	0	0,756	40543	0,398	0,041
BWI	0,102	0,047	0,123	0	0,701	30096	0,225	-0,022
CLT	0,121	0,094	0,130	0	0,684	94203	0,252	-0,009
DFW	0,120	0,047	0,138	0	0,645	213198	0,257	-0,018
EWR	0,261	0,245	0,166	0	0,738	84201	0,427	0,095
IAD	0,234	0,235	0,164	0	0,756	80369	0,397	0,070
LAX	0,234	0,235	0,177	0	0,764	186771	0,411	0,057
STL	0,096	0,028	0,118	0	0,516	11132	0,214	-0,023
YVR	0,208	0,223	0,168	0	0,693	30552	0,375	0,040
BNE	0,159	0,180	0,151	0	0,711	19195	0,310	0,009
DEL	0,171	0,188	0,163	0	0,724	24611	0,334	0,007
HKG	0,240	0,236	0,164	0	0,728	52068	0,404	0,076
KUL	0,210	0,226	0,174	0	0,736	34238	0,384	0,036
SIN	0,249	0,241	0,178	0	0,762	46513	0,427	0,071
TPE	0,213	0,231	0,158	0	0,745	11043	0,371	0,055
DXB	0,269	0,257	0,156	0	0,760	46901	0,426	0,113

ANEXO 6 – Dados Estatísticos - Inverno

Aeroporto	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Nº Conexões	Média + DV	Média - DV
LIS	0,235	0,251	0,152	0	0,700	12549	0,387	0,083
AMS	0,238	0,246	0,167	0	0,764	133725	0,404	0,071
ARN	0,130	0,094	0,144	0	0,630	20021	0,274	-0,014
ATH	0,139	0,141	0,143	0	0,646	12844	0,282	-0,004
BCN	0,121	0,047	0,139	0	0,718	35821	0,260	-0,019
BUD	0,123	0,094	0,134	0	0,591	8090	0,257	-0,010
CDG	0,273	0,265	0,169	0	0,762	189818	0,443	0,104
DUB	0,230	0,234	0,174	0	0,757	6639	0,405	0,056
FRA	0,244	0,250	0,170	0	0,761	200516	0,414	0,074
HEL	0,187	0,188	0,163	0	0,642	23908	0,350	0,024
LHR	0,285	0,262	0,168	0	0,765	229539	0,453	0,117
MAN	0,225	0,235	0,174	0	0,707	9351	0,399	0,052
MUC	0,191	0,188	0,169	0	0,739	105812	0,360	0,022
OSL	0,099	0,047	0,123	0	0,614	24032	0,222	-0,024
VIE	0,139	0,094	0,147	0	0,646	46030	0,287	-0,008
WAW	0,109	0,047	0,131	0	0,615	5724	0,240	-0,022
ZHR	0,222	0,235	0,178	0	0,759	44355	0,400	0,043
BWI	0,092	0,019	0,118	0	0,593	17692	0,210	-0,026
CLT	0,129	0,104	0,132	0	0,674	96610	0,261	-0,003
DFW	0,127	0,094	0,141	0	0,646	206066	0,267	-0,014
EWR	0,262	0,247	0,169	0	0,738	87671	0,431	0,093
IAD	0,240	0,241	0,165	0	0,759	71760	0,405	0,075
LAX	0,236	0,237	0,176	0	0,764	175543	0,412	0,061
STL	0,094	0,009	0,121	0	0,534	9994	0,215	-0,027
YVR	0,204	0,221	0,169	0	0,693	25232	0,372	0,035
BNE	0,153	0,141	0,154	0	0,708	18940	0,307	-0,001
DEL	0,169	0,188	0,162	0	0,748	26785	0,332	0,007
HKG	0,242	0,235	0,164	0	0,740	56161	0,406	0,078
KUL	0,211	0,228	0,174	0	0,756	36439	0,385	0,037
SIN	0,249	0,241	0,177	0	0,762	46752	0,426	0,073
TPE	0,212	0,227	0,160	0	0,765	10262	0,372	0,052
DXB	0,268	0,256	0,154	0	0,760	56123	0,423	0,114

ANEXO 7 – Dados Operacionais

Aeroporto	Nº Passageiros (000) - 2009	% Companhia Dominante - 2009	% Passageiros Internacionais - 2009	Nº Destinos – Verão 2010	Nº Destinos – Inverno 2010
LIS	13278	50,0%	83,4%	93	95
AMS	43570	51,0%	100,0%	245	235
ARN	16064	35,3%	75,4%	104	103
ATH	16226	35,1%	62,2%	108	106
BCN	27422	22,9%	-	146	152
BUD	8095	-	-	80	83
CDG	57907	56,9%	77,2%	239	236
DUB	20504	34,9%	96,8%	146	136
FRA	50938	53,7%	87,4%	266	262
HEL	12592	44,4%	81,2%	91	92
LHR	66037	43,2%	91,8%	160	155
MAN	18265	18,1%	87,9%	153	135
MUC	32681	30,1%	71,7%	209	200
OSL	18088	37,9%	52,3%	94	94
VIE	18144	49,5%	-	155	137
WAW	8321	-	90,0%	92	85
ZHR	21927	56,0%	36,9%	153	151
BWI	20295	50,0%	2,2%	71	71
CLT	34655	37,0%	6,3%	130	128
DFW	55927	54,1%	9,0%	168	170
EWR	34291	33,7%	31,0%	152	153
IAD	23213	32,1%	26,9%	119	117
LAX	56547	17,5%	27,1%	145	141
STL	12796	35,9%	26,3%	58	57
YVR	16177	26,3%	46,4%	80	74
BNE	19063	44,9%	21,5%	60	61
DEL	25670	19,1%	-	94	99
HKG	46928	26,7%	100,0%	109	113
KUL	29682	38,1%	65,4%	105	106
SIN	38611	27,2%	100,0%	104	107
TPE	21617	31,3%	90,5%	78	76
DXB	40902	50,2%	98,0%	155	168