



MODELAGEM MATEMÁTICA E OTIMIZAÇÃO APLICADA AO TRANSPORTE DE ÓRGÃOS PARA TRANSPLANTE EM VOOS REGULARES DOMÉSTICOS

Bruno Athayde Carrara

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes.

Orientador: Glaydston Mattos Ribeiro
Ilton Curty Leal Junior

Rio de Janeiro
Junho de 2014

MODELAGEM MATEMÁTICA E OTIMIZAÇÃO APLICADA AO TRANSPORTE
DE ÓRGÃOS PARA TRANSPLANTE EM VOOS REGULARES DOMÉSTICOS

Bruno Athayde Carrara

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM
ENGENHARIA DE TRANSPORTES.

Examinada por:

Prof. Glaydston Mattos Ribeiro, D.Sc.

Prof. Ilton Curty Leal Junior, D.Sc.

Prof. Raul de Bonis Almeida Simões, D.Sc.

Prof. Pauli Adriano de Almada Garcia, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

JUNHO DE 2014

Carrara, Bruno Athayde

Modelagem matemática e otimização aplicada ao transporte de órgãos para transplante em voos regulares domésticos / Bruno Athayde Carrara. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2014.

XV, 98 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Glaydston Mattos Ribeiro

Ilton Curty Leal Junior

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2014.

Referências Bibliográficas: p. 89-96.

1. Transporte de órgãos. 2. Transplante de órgãos. 3. Modelagem matemática. 4. Otimização. 5. Caminho mínimo. I. Ribeiro, Glaydston Mattos *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes. III. Título.

DEDICATÓRIA

Dedico esta conquista a minha mãe, que infelizmente não está presente fisicamente em mais este momento dos muitos especiais que estou passando em minha vida. Estou certo de que eles acontecem por obra sua.

Dedico também ao meu eterno amigo e irmão Tiaguinho, que sempre quis concluir seu mestrado, mas se foi antes que pudesse tornar seu sonho possível.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, por me dar mais essa oportunidade na vida e por estar sempre comigo em todos os momentos.

Especialmente à minha esposa, Flávia, por ter me dado a ideia de estudar os transportes de órgãos para transplante mesmo antes de eu começar a pensar em trabalhar com isso, por ter me dado apoio em tudo que faço e no que quero fazer desde o primeiro dia em que nos conhecemos, mesmo quando não concorda totalmente com a ideia, por ter sido companheira em diversos momentos difíceis, por ficar acordada comigo enquanto estudava nas madrugadas ou simplesmente por me mandar parar quando percebia que eu passava dos limites, por ser minha família e por me trazer à sua família enquanto a minha família está longe, por ter me salvado, por me salvar todos os dias, por ser “a luz da minha vida”, por tudo que é e ainda vai ser na nossa família, por estar comigo na saúde e na doença, na riqueza e na pobreza, nos momentos bons e nos momentos ruins, por ser a minha escolha certa e pelo meu “etc.” no final por nunca ter agradecimentos suficientes pelo que ela representa na minha vida. Etc.

A toda minha família e amigos, que de uma forma ou de outra contribuíram para minha formação e para me tornar a pessoa que sou. Mãe, pai, irmãos, sobrinhos, avós, tios, sogros, cunhados, primos.

À minha Mãe, com o “M” maiúsculo de quem de alguma maneira e de algum lugar continua me criando e me guiando para que eu conquiste todos meus objetivos na vida.

Aos meus colegas de trabalho da ANAC que me ajudaram direta ou indiretamente nesta conquista e que me apoiam nas tarefas de todos os dias.

Aos colegas da Central Nacional de Transplantes, que além de aguentarem meus e-mails e telefonemas sempre pedindo mais informações ainda passaram uns dias me aturando pessoalmente e me ensinando um pouco do maravilhoso trabalho de coordenação da distribuição de órgãos.

A meus professores, em especial aos meus orientadores Glaydston e Ilton, sem os quais eu nunca teria terminado o mestrado.

A meus colegas de graduação e de mestrado que muito ajudaram durante as aulas, trabalhos e pesquisas.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

MODELAGEM MATEMÁTICA E OTIMIZAÇÃO APLICADA AO TRANSPORTE DE ÓRGÃOS PARA TRANSPLANTE EM VOOS REGULARES DOMÉSTICOS

Bruno Athayde Carrara

Junho/2014

Orientadores: Glaydston Mattos Ribeiro
Ilton Curty Leal Junior

Programa: Engenharia de Transportes

A cirurgia de transplante de órgãos é vista como a melhor maneira, e por vezes a única, para tratamento de pessoas que apresentam mau funcionamento de órgãos vitais do corpo. Em razão do curto tempo de vida de um órgão fora do corpo humano, destaca-se a importância de um bom planejamento e coordenação do transporte de modo a obter o melhor aproveitamento possível das doações por meio do compartilhamento de órgãos entre centros transplantadores. Assim, o presente estudo apresenta o desenvolvimento de um modelo matemático baseado no problema do caminho mínimo para a análise da compatibilidade e viabilidade entre pares de aeroportos de origem e destino para transporte de órgãos pelo modo aéreo utilizando voos de empresas aéreas regulares em território brasileiro. No estudo foram considerados 32 dos principais aeroportos brasileiros, representados por 30 nós distintos dispostos em rede. Os resultados obtidos pelo modelo foram comparados com resultados reais de transportes de órgãos entre diferentes estados do território nacional. A seleção dos dados reais alinhada com a descrição de todo o processo de modelagem e definição dos possíveis pares de aeroportos entre os quais cada tipo de órgão pode ser transportado em cada situação aproxima o modelo da realidade e faz com que seja plausível sua aplicação na tomada de decisão pelos coordenadores de transporte de órgãos.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

MATHEMATICAL MODELING AND OPTIMIZATION APPLIED TO ORGAN
TRANSPORTATION USING COMERCIAL BRAZILIAN FLIGHTS

Bruno Athayde Carrara

June/2014

Advisors: Glaydston Mattos Ribeiro
Ilton Curty Leal Junior

Department: Transportation Engineering

Organ transplantation surgery is seen as the best way, and sometimes the only way, to treat people who have malfunctioning vital organs. Considering the short lifetime of an organ outside the body, it is important to emphasize the planning and coordination of transport in order to obtain the best possible usage of donations by organ sharing among transplant centers. Thus, this study presents the development of a mathematical model based on the shortest path problem for compatibility and viability analysis between pairs of origin and destination airports for organ transportation by air mode using commercial flights in Brazil. In this study 32 major Brazilian airports were considered represented by 30 different nodes arranged in a network. The results obtained by the model were compared with real results for transport of organs between different states of the Brazilian territory. The selection of real data aligned with the description of the process modeling and definition of possible pairs of airports in which each type of organ can or cannot be transported in each situation approximates the model to reality and makes its application in the decision of the organ transport coordinators plausible.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	1
1.2. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA.....	2
1.3. OBJETIVO DO ESTUDO	2
1.4. OBJETO E DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	3
1.5. JUSTIFICATIVA DO TRABALHO.....	3
1.6. METODOLOGIA	5
1.7. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	6
2. O TRANSPLANTE DE ÓRGÃOS	8
2.1. GENERALIDADES SOBRE O TRANSPLANTE DE ÓRGÃOS	8
2.1.1. DOAÇÃO ENTRE VIVOS	10
2.1.2. TEMPOS DE ISQUEMIA.....	12
2.2. MODELOS DE TRANSPLANTE	16
2.2.1. O SISTEMA ESPANHOL DE TRANSPLANTES	17
2.2.2. O SISTEMA NORTE-AMERICANO.....	18
2.2.3. O SISTEMA BRASILEIRO	20
2.2.4. OUTROS SISTEMAS DE TRANSPLANTE.....	24
2.3. TRANSPLANTES VERSUS LISTAS DE ESPERA.....	26
2.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	27
3. O FATOR TEMPO E O TRANSPORTE DE ÓRGÃOS	28
3.1. A INFLUÊNCIA DO TEMPO PARA O TRANSPLANTE	28
3.1.1. O TEMPO DE TRANSPORTE.....	28
3.1.2. O CIT.....	29
3.2. TRANSPORTE NO TRANSPLANTE DE ÓRGÃOS	34
3.2.1. ESCOLHA MODAL.....	39
3.2.2. TRANSPORTE DE ÓRGÃOS POR LONGAS DISTÂNCIAS	41
3.2.3. COOPERAÇÃO NO TRANSPORTE DE ÓRGÃOS	44
3.3. ESTUDOS DE OTIMIZAÇÃO APLICADOS AO TRANSPORTE DE ÓRGÃOS	48
3.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS DO CAPÍTULO.....	50
4. PROPOSTA DE MODELOS PARA O PROBLEMA DO TRANSPORTE DE ÓRGÃOS.....	52
4.1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	52
4.1.1. FORMULAÇÃO MATEMÁTICA DO PROBLEMA DO CAMINHO MÍNIMO	53
4.1.2. ALGORITMO DE DIJKSTRA	54
4.1.3. ALGORITMO FLOYD-WARSHALL	56
4.2. DESCRIÇÃO DOS MODELOS	57
4.2.1. MODELAGEM PARA DEFINIÇÃO DA MATRIZ DE COMPATIBILIDADE – MODELO 1.....	57
4.2.2. MODELAGEM BASEADA EM VOOS – MODELO 2.....	58
4.2.3. COMENTÁRIOS SOBRE OS DOIS MODELOS APRESENTADOS.....	60
4.2.4. FLUXOGRAMA DE APLICAÇÃO DOS MODELOS.....	61
4.3. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61
5. APLICAÇÃO DOS MODELOS E DEFINIÇÃO DO CAMINHO MÍNIMO PARA TRANSPORTE DE ÓRGÃO	63

5.1.	REDE DE AEROPORTOS E VOOS	63
5.2.	COLETA DE DADOS SOBRE O TRANSPORTE DE ÓRGÃOS.....	65
5.3.	RESULTADOS DO MODELO 1	71
5.4.	RESULTADOS DO MODELO 2	74
5.4.1.	<i>ANÁLISE COMPARATIVA DOS RESULTADOS</i>	75
5.4.2.	<i>AVALIAÇÃO DE POSSÍVEIS DESTINOS.</i>	78
5.5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	85
6.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	87
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Opiniões sobre tempo de isquemia dos órgãos.....	14
Figura 2.2: Resumo da alocação de órgãos no sistema espanhol de transplantes. .	18
Figura 2.3: Resumo da alocação de órgãos no sistema norte-americano de transplantes.	20
Figura 2.4: Organização regional para fins de distribuição de órgãos.	21
Figura 2.5: Resumo da alocação de órgãos no sistema brasileiro de transplantes. 23	
Figura 3.1: Número de voos transportando órgãos – 2000 a 2013* (até setembro).	47
Figura 3.2: Itens transportados com finalidade de transplante – 2012/2013.	48
Figura 4.1: Exemplo de caminho mínimo em grafo.	53
Figura 4.2: Fluxograma de aplicação dos modelos para transporte do órgão.....	62
Figura 5.1: Tempos considerados durante o <i>CIT</i> do órgão.	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Quem pode se beneficiar de um transplante.....	9
Tabela 2.2: Tempo máximo de preservação dos órgãos.....	15
Tabela 2.3: Regiões para fins de transplantes.....	21
Tabela 2.4: Números de transplantes (2012) e listas de espera (2011-2012).	26
Tabela 3.1: Resumo dos transportes de coração relatados por THOMAS <i>et al.</i> (1978).	42
Tabela 5.1: Lista de aeroportos (nós) da rede estudada.	64
Tabela 5.2: Matriz de valores da rede de aeroportos estudada.....	67
Tabela 5.3: Valores considerados para o cálculo do $D_{máx}$	68
Tabela 5.4: Dados de órgãos disponibilizados durante a pesquisa.	69
Tabela 5.5: Cálculo dos dados para aplicação nos modelos.	70
Tabela 5.6: Matriz de tempos da rede.	72
Tabela 5.7: Matriz de compatibilidade para os casos estudados.	73
Tabela 5.8: Resultados do Modelo 1 aplicados aos casos reais.....	74
Tabela 5.9: Análise comparativa entre os casos reais e os resultados do Modelo 2.	76
Tabela 5.10: Análise da média de tempos entre os casos reais e o Modelo 2.	78
Tabela 5.11: Análise de possíveis destinos.....	79
Tabela 5.12: Comparação de resultados considerando penalidade por parada.....	85

LISTA DE ABREVIATURAS

ABTO	Associação Brasileira de Transplante de Órgãos
AC	Estado do Acre
AL	Estado de Alagoas
AM	Estado do Amazonas
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AP	Estado do Amapá
BA	Estado da Bahia
CE	Estado do Ceará
CIHDOTT	Comissão Intra-Hospitalar de Doação de Órgãos e Tecidos para Transplante
CIT	<i>Cold ischaemia time</i> (tempo de isquemia fria)
CNCDO	Central de Notificação, Captação e Distribuição de Órgãos
CNNCDO	Central Nacional de Notificação, Captação e Distribuição de Órgãos (neste estudo referenciada pela sigla CNT)
CNT	Central Nacional de Transplantes (o mesmo que CNNCDO)
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DF	Distrito Federal
DGF	Delayed graft function (funcionamento retardado do enxerto)
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
ES	Estado do Espírito Santo
EU	European Union (União Européia)
EUA	Estados Unidos da América
FAB	Força Aérea Brasileira
GO	Estado de Goiás

GPS	Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)
HRSA	Health Resources and Services Administration
INFRAERO	Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária – INFRAERO Aeroportos
ITS	Intelligent Transport System (Sistema Inteligente de Transporte)
KPD	Kidney paired donation (doação de rim entre pares ou entre vivos)
MA	Estado do Maranhão
MG	Estado de Minas Gerais
MS	Estado do Mato Grosso do Sul
MT	Estado do Mato Grosso
OACI	Organização da Aviação Civil Internacional (International Civil Aviation Organization - ICAO)
ONT	Organización Nacional de Trasplantes espanhola
OPO	Organização de Procura por Órgãos (Brasil) / Organ Procurement Organization (EUA)
OPTN	Organ Procurement and Transplantation Network
PA	Estado do Pará
PB	Estado da Paraíba
PE	Estado de Pernambuco
PI	Estado do Piauí
PR	Estado do Paraná
RDC	Resolução da Diretoria Colegiada
RJ	Estado do Rio de Janeiro
RN	Estado do Rio Grande do Norte
RO	Estado de Rondônia
RR	Estado de Roraima
RS	Estado do Rio Grande do Sul

SBAR	Aeroporto Santa Maria (Aeroporto de Aracaju)
SBBE	Aeroporto Internacional Val de Cans (Aeroporto de Belém)
SBBH	Aeroporto Carlos Drummond de Andrade (Aeroporto da Pampulha - Belo Horizonte). Neste estudo representa também o nó da rede composto por SBBH e SBCF.
SBBR	Aeroporto Internacional Presidente Juscelino Kubitschek (Aeroporto de Brasília)
SBBV	Aeroporto Internacional de Boa Vista (Aeroporto de Boa Vista)
SBCF	Aeroporto Internacional Tancredo Neves (Aeroporto de Confins - Belo Horizonte)
SBCG	Aeroporto Internacional de Campo Grande (Aeroporto de Campo Grande)
SBCT	Aeroporto Internacional Afonso Pena (Aeroporto de Curitiba)
SBCY	Aeroporto Internacional Marechal Rondon (Aeroporto de Cuiabá)
SBEG	Aeroporto Internacional Eduardo Gomes (Aeroporto de Manaus)
SBFL	Aeroporto Internacional Hercílio Luz (Aeroporto de Florianópolis)
SBFZ	Aeroporto Internacional Pinto Martins (Aeroporto de Fortaleza)
SBGL	Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim (Aeroporto Galeão - Rio de Janeiro)
SBGO	Aeroporto Internacional Santa Genoveva (Aeroporto de Goiânia)
SBGR	Aeroporto Internacional André Franco Montoro (Aeroporto de Guarulhos)
SBJP	Aeroporto Internacional Presidente Castro Pinto (Aeroporto de João Pessoa)
SBKP	Aeroporto Internacional de Viracopos (Aeroporto de Viracopos - Campinas)
SBMO	Aeroporto Internacional Zumbi dos Palmares (Aeroporto de Maceió)
SBMQ	Aeroporto Internacional de Macapá (Aeroporto de Macapá)
SBNT	Aeroporto Internacional Augusto Severo (Aeroporto de Natal)
SBPA	Aeroporto Internacional Salgado Filho (Aeroporto de Porto Alegre)
SBPJ	Aeroporto Brigadeiro Lysias Rodrigues (Aeroporto de Palmas)
SBPV	Aeroporto Internacional Governador Jorge Teixeira de Oliveira (Aeroporto de Porto Velho)
SBRB	Aeroporto Internacional Plácido de Castro (Aeroporto de Rio Branco)

SBRF	Aeroporto Internacional Gilberto Freyre (Aeroporto dos Guararapes - Recife)
SBRJ	Aeroporto Santos Dumont (Rio de Janeiro). Neste estudo representa também o nó da rede composto por SBRJ e SBGL.
SBRP	Aeroporto Dr. Leite Lopes (Aeroporto de Ribeirão Preto)
SBSL	Aeroporto Internacional Marechal Cunha Machado (Aeroporto de São Luís)
SBSP	Aeroporto de Congonhas (São Paulo)
SBSV	Aeroporto Internacional Deputado Luís Eduardo Magalhães (Aeroporto de Salvador)
SBTE	Aeroporto Senador Petrônio Portella (Aeroporto de Teresina)
SBVT	Aeroporto Eurico de Aguiar Salles (Aeroporto de Vitória)
SC	Estado de Santa Catarina
SE	Estado de Sergipe
SMA	Sistema multiagente (Multi-Agent System - MAS)
SNEA	Sindicato Nacional das Empresas Aeroviárias
SNT	Sistema Nacional de Transplantes
SP	Estado de São Paulo
SPOT	Serviço de Procura de Órgãos e Tecidos
SUS	Sistema Único de Saúde
TO	Estado do Tocantins
UNOS	United Network for Organ Sharing
UW	University of Wisconsin
WHO	World Health Organization (Organização Mundial da Saúde - OMS)
WIT	Warm ischaemia time (tempo de isquemia quente)

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui um sistema de transplante de órgãos custeado pelo governo e é hoje um dos países de destaque em matéria de transplantes (CONSEJO DE EUROPA, 2012).

Apesar do destaque no cenário internacional, alguns fatores críticos, como as dimensões do território brasileiro e a dificuldade logística do transporte para determinados pontos do país, retardam o crescimento dos números de transplantes realizados. Sendo assim, esta dissertação propõe a utilização de modelagem matemática aplicada ao transporte de órgãos para transplante utilizando voos domésticos de empresas aéreas regulares.

1.1. Contextualização

O sistema de transplantes brasileiro é o segundo maior do mundo em números absolutos, perdendo apenas para os Estados Unidos, sendo que mais de 90% dos transplantes realizados no país são custeados pelo Sistema Único de Saúde – SUS (ABTO, 2012; CONSEJO DE EUROPA, 2012).

O transplante é tido como a transferência de células, tecidos ou órgãos vivos de uma pessoa para outra, ou a transferência de uma parte do corpo de uma pessoa para outra, com a finalidade de restabelecer uma função perdida (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2012). RUDGE *et al.* (2012) destacam que o transplante é a melhor maneira de tratamento, e por vezes a única, para pessoas com falhas em seus órgãos em um estágio avançado.

Os órgãos vivos, ou sólidos, que podem ser doados são: rins, fígado, pâncreas, pulmões, coração e intestino. Também é possível o transplante de partes do corpo e tecidos como: córneas, medula óssea, pele, ossos etc. (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2012)

Ao ser retirado um órgão de seu doador, este é mantido preservado em uma solução contendo líquidos específicos que provêm sua sobrevivência até sua substituição pelo sangue do receptor. O intervalo de tempo que o órgão pode ser mantido sem fornecimento de sangue fora do corpo humano é denominado tempo de isquemia fria, ou *CIT* (*cold ischaemia time*) (HOSPITAL ISRAELITA ALBERT

EINSTEIN, 2010). Há, ainda, o tempo de isquemia quente, ou *WIT* (*warm ischaemia time*), melhor detalhado no Capítulo 2.

Segundo LUDOVICO (2000), o transporte pelo modo aéreo caracteriza-se por sua rapidez, segurança, flexibilidade e elevado custo. Por meio de acordos de cooperação firmados entre empresas, órgãos e entidades governamentais que permitem a redução ou até mesmo a anulação dos custos de transporte (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2009a, 2013), o modo aéreo é bastante utilizado para a realização dos deslocamentos de órgãos compartilhados no território brasileiro, no intuito de se reduzir o *CIT* do órgão e transportá-lo dentro do seu período de sobrevivência (HEINZEN, 2013).

1.2. Apresentação do problema de pesquisa

Considerando a importância do fator tempo para a qualidade e sobrevivência do órgão doado, em decorrência do seu *CIT* (VENANZI et al., 2012), o transporte ágil do órgão é necessário em casos de compartilhamento entre distintos centros transplantadores, principalmente quando envolve estados distantes de um território.

É importante que o tempo entre a alocação do órgão e a sua chegada ao hospital transplantador seja reduzido ao máximo (ELGUETA *et al.*, 2010), o que significa, dentre outros fatores, minimizar o tempo gasto no transporte.

Dessa maneira, o problema de pesquisa deste estudo é representado pelos seguintes questionamentos:

a) Dada a origem de um órgão e os critérios de alocação, como avaliar a compatibilidade dos possíveis destinos usando voos de empresas aéreas regulares?

b) Dada a origem e o destino de um órgão, seu horário de chegada ao aeroporto de origem, seu tempo máximo de transporte (que respeita o tempo máximo de isquemia fria), os horários dos voos disponíveis e suas paradas em aeroportos intermediários, qual a melhor sequência de voos tal que este órgão chegue ao aeroporto de destino o mais rápido possível?

1.3. Objetivo do estudo

O objetivo desse estudo é desenvolver um método adequado para escolha dos melhores voos a serem utilizados para se transportar órgãos, levando-se em

consideração as restrições de tempo associadas aos tempos de isquemia fria desses órgãos.

Dentre os objetivos específicos estão: (a) revisar a literatura sobre transplante e transporte de órgãos sólidos; (b) desenvolver uma matriz de compatibilidade entre aeroportos de origem e destino para o transporte de órgãos; (c) desenvolver um modelo matemático baseado em tempos e horários de voos regulares existentes; (d) comparar os resultados do modelo com aqueles coletados de casos reais de transporte de órgãos.

1.4. Objeto e delimitação do estudo

Esta dissertação tem como objeto o transporte de órgãos para transplante entre diferentes cidades do território brasileiro utilizando o modo aéreo em voos regulares, seja em transporte desacompanhado ou acompanhado por uma equipe de transplante.

Em razão de possuírem um tempo maior de vida fora do corpo humano que um órgão sólido, os tecidos e partes do corpo humano não serão tratados no presente estudo, sendo considerados somente os órgãos sólidos.

Apesar da possibilidade de se transplantar um intestino, no Brasil este tipo de transplante ainda é experimental, não havendo, até hoje, nenhum caso registrado. Dessa forma, o transporte de intestino também será desconsiderado neste trabalho.

A partir deste ponto do estudo, os órgãos sólidos serão referenciados apenas como “órgãos” e representarão tão somente rins, fígado, pâncreas, pulmões e coração.

1.5. Justificativa do trabalho

O sistema brasileiro é baseado no sistema espanhol de transplantes. Entretanto, para NUNES et al. (2010), as dimensões territoriais do Brasil dificultam o atendimento de todas as demandas das regiões do país de forma eficaz e igualitária.

O tema dos transplantes de órgãos é difundido no país por meio de diversas campanhas do MINISTÉRIO DA SAÚDE (2009a, 2009c, 2013, 2014), porém, apesar da posição de destaque do país no cenário mundial, alguns estados do território brasileiro ainda encontram dificuldades para encontrar doadores, e, conseqüentemente, o número de pacientes nas filas de espera por transplante continua elevado. Em setembro de 2013, as filas de espera por órgãos sólidos apresentavam os seguintes números de pacientes ativos: rim: 19.556; fígado: 1.448; coração: 221; pulmão: 186; pâncreas: 16; pâncreas/rim: 411 (ABTO. 2013).

Segundo ABTO (2013), alguns estados das regiões norte, nordeste e centro-oeste do Brasil apresentam não apenas os números mais baixos de doações de todo o país como também as menores taxas de doação por milhão de população (pmp) em seus territórios. Estados como Mato Grosso, Amapá, Roraima e Tocantins não apresentaram nenhum doador no período de janeiro a setembro de 2013. Em contrapartida, estados das regiões sudeste e sul possuem os maiores números e taxas de doadores do país. São Paulo, Paraná, Rio de Janeiro e Minas Gerais tiveram, respectivamente, 616 (19,9 doadores/pmp), 170 (21,7 doadores/pmp), 160 (13,3 doadores/pmp) e 160 (10,9 doadores/pmp) doadores efetivos no mesmo período analisado.

Tais fatos demonstram a disparidade no número de doadores efetivos entre regiões do país e, assim, apesar de ser destaque mundial no setor de transplante de órgãos, o Brasil acaba não apresentando uma taxa de doações por milhão de população tão expressiva.

Pode-se verificar nas estatísticas apresentadas por ABTO (2013) que há estados com números baixos de doações efetivadas, mas que apresentam números expressivos de potenciais doadores em seus territórios. Apesar do estado de Mato Grosso não apresentar uma doação efetiva sequer na primeira parte de 2013, foram identificados 54 casos de possíveis doadores. O estado do Acre, por outro lado, demonstrou uma taxa de 10,9 doações efetivas pmp (6 doações no período), o que poderia ser considerado um número razoável quando comparado a outros estados da mesma região, entretanto, a taxa de potenciais doadores no mesmo território foi de 109,0 pmp (60 potenciais doadores no período), perdendo apenas para o Distrito Federal (245 potenciais doadores ou 127,1 pmp). Tais dados indicam problemas não na identificação de potenciais doadores, mas sim nas doações de fato.

Para efeito de comparação, pela análise dos dados apresentados por CONSEJO DE EUROPA (2012), enquanto países como a Espanha e os Estados Unidos lideraram as doações efetivas de doadores falecidos em seus continentes no ano de 2011, com as taxas de 35,3 e 26,0 doações pmp, respectivamente, o Brasil teve apenas a terceira posição na América do Sul, com uma taxa de 11,2, atrás do Uruguai (20,0 pmp) e da Argentina (14,9 pmp).

Diversos fatores podem ser atribuídos ao insucesso de um possível transplante: a falta de autorização da família do doador, contra indicações médicas, complicações cirúrgicas, infraestrutura inadequada, entre outros (ABTO, 2010).

Para ABTO (2009) problemas logísticos são responsáveis pela não efetivação de 5% a 10% das doações de potenciais doadores. O problema no processo de transporte do órgão entre doador e receptor é um dos fatores que podem contribuir para o fracasso de uma operação de transplante. BERGAMO (2012) apresentou uma comparação de dados da Organización Nacional de Trasplantes espanhola – ONT – e do Sistema Nacional de Transplantes brasileiro – SNT – indicando que os percentuais de órgãos descartados por falta de transporte na Espanha e no Brasil em 2005 estavam na ordem de 0,5% e 24%, respectivamente.

Com o objetivo de aumentar o aproveitamento de órgãos transportados entre cidades distantes dentro do território nacional, em novembro de 2009, foi celebrado um acordo de cooperação técnica entre o Ministério da Saúde e as empresas aéreas brasileiras, representadas pelo Sindicato Nacional das Empresas Aeroviárias – SNEA (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2009a). O objeto do acordo celebrado foi a realização de transporte aéreo gratuito de órgãos, tecidos e partes extraídas de corpo de pessoas falecidas, com fins de transplante, assim como o transporte de equipes responsáveis pela retirada, acompanhamento e transplante desses órgãos em seus receptores. Em dezembro de 2013, um novo acordo foi firmado, envolvendo além de empresas aéreas e o Ministério da Saúde, algumas administrações aeroportuárias, a Secretaria de Aviação Civil, a Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC e a Força Aérea Brasileira – FAB (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2013). Em MINISTÉRIO DA SAÚDE (2013), verifica-se a assinatura do acordo por parte de cinco empresas concessionárias da prestação de serviços de transporte aéreo regular de passageiros, carga e mala postal. De acordo com ANAC (2009) todas as operações aéreas regulares realizadas pelas empresas aéreas concessionárias de transporte público dependem de prévia autorização do órgão regulador. Essa autorização é dada após análise das capacidades de infraestrutura aeroportuária e de espaço aéreo. Dessa forma, todos os voos regulares em território nacional são conhecidos e disponibilizados à consulta pública (ANAC, 2013a).

1.6. Metodologia

Para alcançar os objetivos propostos no presente estudo, verificou-se a literatura existente sobre transplante e transporte de órgãos por meio de revisão bibliográfica e documental não exaustiva. Foram feitas pesquisas em periódicos, artigos, congressos,

fóruns, seminários, trabalhos acadêmicos, *websites* e regulamentos ligados ao tema de transplante de órgãos, tanto nacionais quanto internacionais.

Em seguida, foi definido um fluxo para a aplicação dos dois modelos matemáticos estabelecidos no estudo. Para a coleta de dados dos transportes de órgãos, foram conduzidas entrevistas com profissionais da CNT e com coordenadores de equipes de transplante. Dessa maneira, foram estabelecidos os tempos mínimos padronizados para a realização das cirurgias de captação de órgãos, importantes especialmente para a definição dos tempos máximos possíveis para o deslocamento de cada tipo de órgão dentro do seu tempo máximo de isquemia fria (ABTO, 2009).

Foi feita uma pesquisa sobre o problema do caminho mínimo (DIJKSTRA, 1959; FLOYD, 1962) para a aplicação no cenário de transporte de órgãos. Levantaram-se dados de tempos de voo entre os aeroportos da rede de aeroportos estudada (ANAC, 2013a), os quais foram comparados com os tempos máximos de deslocamento dos órgãos para a criação de uma matriz de compatibilidade entre os distintos aeroportos de origem e de destino.

Na sequência, foi feito o levantamento de dados de 24 casos reais de transporte de órgão conduzidos pela CNT, para os quais foi aplicado o modelo matemático baseado em voos a fim de comparar os resultados obtidos pelo modelo com os resultados estimados dos casos reais.

1.7. Estrutura da dissertação

Esta dissertação está estruturada em seis capítulos.

No presente Capítulo, apresenta-se a introdução do assunto em questão, seguido da contextualização, apresentação do problema, objetivos, objeto e delimitação do estudo, justificativa e metodologia.

No Capítulo 2, faz-se a descrição do problema do transplante de órgãos com a descrição de algumas informações gerais sobre o tema. Esse Capítulo explica o funcionamento de alguns sistemas de transplante em países de referência, bem como o sistema brasileiro. Além disso, são apresentados dados relativos ao transplante de órgãos e às listas de espera em território nacional.

No Capítulo 3, apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre a importância que o tempo representa para o transplante de órgãos e a relevância de um transporte ágil para

a obtenção de bons resultados pós-operatórios. É destacada, ainda, a questão do *CIT* e a sua influência no transplante de rim e no transplante de outros órgãos.

No Capítulo 4, é apresentada uma breve descrição sobre o problema do caminho mínimo e descrevem-se os dois modelos matemáticos utilizados para definir os melhores voos para o transporte de órgãos para transplante.

No Capítulo 5, ambos os modelos descritos no Capítulo 4 são aplicados a situações reais levantadas junto ao SNT e os resultados obtidos são apresentados.

O Capítulo 6 apresenta as conclusões e sugestões sobre o trabalho e também as limitações encontradas durante o desenvolvimento das pesquisas.

2. O TRANSPLANTE DE ÓRGÃOS

O objetivo deste Capítulo é apresentar os conceitos e práticas adotadas no transplante de órgãos. Inicialmente, expressões utilizadas em transplantes são conceituadas. Em seguida apresentam-se algumas práticas adotadas em transplantes de órgãos como as doações entre vivos e a formação de “correntes” de transplante. Por fim, apresentam-se informações relativas aos modelos de transplante adotados em países de referência, como Espanha e Estados Unidos, e o modelo adotado pelo Brasil, além de dados relativos às filas de espera por transplante.

A partir dessas explanações, é possível dar continuidade ao que se descreve nos próximos capítulos do estudo com uma adequada compreensão dos termos utilizados e práticas estabelecidas.

2.1. Generalidades sobre o transplante de órgãos

Um órgão representa uma parte diferenciada e vital do corpo humano que é formada por diferentes tecidos e que mantém sua capacidade de desenvolver funções fisiológicas com um importante nível de autonomia (ESPANHA, 2006). A pessoa da qual são retirados os órgãos, células ou tecidos é considerada o doador, enquanto a pessoa na qual serão implantados é definida como o receptor (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2012).

Como afirma BELIËN *et al.* (2013), o processo de transplante sempre envolve no mínimo dois personagens. O primeiro é a pessoa que doa seu órgão com a intenção de transplante, chamado de doador. Para WHO (2007), o doador é um ser humano que é a fonte do órgão com o propósito do transplante. O segundo personagem é a pessoa a quem o órgão é destinado, denominado receptor, o qual receberá o enxerto, considerado um órgão transplantado (HRSA, 2012).

A Tabela 2.1 apresenta os órgãos mais comuns de serem transplantados e o tipo de pessoa que pode se beneficiar desses transplantes.

Tabela 2.1: Quem pode se beneficiar de um transplante.

Órgão	Indicações
Coração	Portadores de cardiomiopatia grave de diferentes etiologias (Doença de Chagas, isquêmica, reumática, idiopática, miocardites).
Pulmão	Portadores de doenças pulmonares crônicas por fibrose ou enfisema.
Fígado	Portadores de cirrose hepática por hepatite, álcool ou outras causas.
Rim	Portadores de insuficiência renal crônica por nefrite, hipertensão, diabetes e outras doenças renais.
Pâncreas	Diabéticos que tomam insulina (diabetes tipo) em geral, quando estão com doença renal associada.

Fonte: ABTO (2012)

O doador pode ser uma pessoa viva ou falecida. Entretanto, além de ser mais comum a doação de pessoas falecidas, somente alguns órgãos ou parte de órgãos podem ser doados em vida.

Um doador falecido é um ser humano legalmente declarado morto, segundo critérios médicos estabelecidos, do qual um ou mais órgãos são retirados com fins de transplante (WHO, 2007). O falecimento do doador pode ser decretado por critério neurológico ou cardiopulmonar. O primeiro refere-se à morte encefálica (cerebral) do indivíduo e o segundo refere-se à cessação do funcionamento do coração.

A doação por morte encefálica é a mais utilizada, não só no Brasil, mas também em todo o mundo. Na morte encefálica, ocorre a morte do cérebro, órgão responsável por desempenhar as funções vitais do corpo humano, por exemplo, a respiração. Após a morte encefálica, o indivíduo não é capaz de respirar sem o auxílio de aparelhos, o que é possível apenas por mais algumas horas, uma vez que a parada cardíaca é inevitável (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2012).

É fundamental que os órgãos sejam doados antes da parada cardíaca, enquanto ainda há circulação sanguínea, pois nessa situação pode-se aproveitar uma maior quantidade de órgãos do doador. Apesar de MINISTÉRIO DA SAÚDE (2012) destacar que, após a parada cardíaca, somente as córneas podem ser doadas, dados estatísticos revelam a possibilidade de doação de alguns órgãos por doador falecido por coração parado em países com programas de transplante bem desenvolvidos, porém em proporções bastante inferiores (CONSEJO DE EUROPA, 2012; RUDGE *et al.*, 2012). SCHÜTT (1998) acredita que as doações por coração parado podem, em parte, melhorar

a atual baixa disponibilidade de rins para doação. No final de 2011, o Brasil apresentava, desconsiderando países da Ásia, a segunda maior fila de espera por rins do mundo, com 19.486 pacientes na lista, perdendo apenas para os Estados Unidos, com 55.883 pacientes (CONSEJO DE EUROPA, 2012).

Enquanto a legislação brasileira (BRASIL, 1997b) não aborda a doação de órgãos por doadores falecidos de coração parado, alguns países, como a Alemanha, proíbem esse tipo de doação e outros, como a Espanha, a praticam (SCHÜTT, 1998). No ano de 2011, em nenhum país da América Latina se realizou transplante de órgão de doador falecido por parada cardíaca (CONSEJO DE EUROPA, 2012). Por outro lado, nos Estados Unidos, em torno de 90% dos doadores falecidos são por morte encefálica, enquanto os outros 10% são por doações após parada cardíaca. Já na Espanha, a proporção é de 95% de morte encefálica e o restante por coração parado (RUDGE *et al.*, 2012).

2.1.1. Doação entre vivos

Com respeito à doação entre vivos, a legislação brasileira (BRASIL, 1997b) permite a uma pessoa dispor de um órgão, tecido ou parte do próprio corpo cuja sua retirada não impeça o organismo de viver e não cause nenhum dano à sua saúde. Somente é permitida a doação gratuita, seja para fins terapêuticos ou para transplantes. Em vida, tratando-se de órgãos, podem ser doados um dos rins, parte do fígado, parte do pulmão e parte do pâncreas (ABTO, 2012).

A doação de rim é a mais comum entre as doações de órgãos entre vivos. Alguns países possuem programas para incentivar esse tipo de doação, chamada de doação de rim entre pares (*kidney paired donation – KPD*) ou entre vivos, e ajudar a reduzir a fila de espera por esse órgão. Além da doação de falecidos por coração parado, SCHÜTT (1998) considera que a doação entre vivos também pode auxiliar na escassez de rins disponíveis para doação e, conseqüentemente, reduzir as listas de espera ao redor do mundo.

SCHÜTT (1998) destacou que, em 1998, a doação de rim entre vivos na Espanha era realizada raramente e a *KPD* na Alemanha representava 2% a 4% dos transplantes de rim naquele país, enquanto nos Estados Unidos em torno de 30% dos transplantes desse órgão eram realizados por *KPD*. Em 2011, os números na Espanha mantiveram-se baixos (12,5%), nos Estados Unidos continuaram no mesmo patamar

(32,8%) e na Alemanha subiram substancialmente (27,9%) (CONSEJO DE EUROPA, 2012).

No Brasil, a *KPD* representa aproximadamente 33% dos transplantes de rim em território nacional. Alguns outros países da América Latina apresentam percentuais mais expressivos, porém ao se comparar os números absolutos dos transplantes desse órgão, percebe-se que o Brasil possui números elevados. O total de transplantes de rim realizados no Brasil em 2011 foi de 4.957, enquanto os transplantes em *KPD* foram de 1.643, maior que o número total de transplantes de rim da Argentina (1.097), país que ocupou a segunda colocação em transplantes de rim na América do Sul (CONSEJO DE EUROPA, 2012).

Por vezes, mesmo tendo um doador vivo disposto a doar um rim, pode não ser possível concretizar essa doação por razões de incompatibilidade entre doador e receptor. Por essa razão, as chamadas “correntes” (*chain*) para transplantes de rim entre pares incompatíveis foram desenvolvidas nos Estados Unidos, com a finalidade de encontrar doadores e receptores compatíveis entre si em qualquer lugar do território norte-americano (BUTT *et al.*, 2009; SEGEV *et al.*, 2011; SACK e MELCHER *et al.*, 2012) e por vezes até em países vizinhos (UEHLINGER *et al.*, 2010).

As “correntes” se iniciam com um doador não diretamente relacionado com um receptor, o qual doa um de seus rins para esse receptor que, por sua vez, possui outro doador disponível, porém não compatível. Esse doador incompatível, por sua vez, doa seu rim a outro receptor que, por sua vez, também possui um doador disponível que não é compatível com ele. A “corrente” segue até que o último doador faça sua doação ao receptor relacionado ao primeiro doador da “corrente” ou uma doação a algum recipiente da lista de espera de doadores falecidos (MELCHER *et al.*, 2012). Algumas “correntes” se iniciam com doadores altruístas (BUTT *et al.*, 2009; SACK, 2012).

MELCHER *et al.* (2012) estudaram dados sobre 54 “correntes” de transplantes de rim facilitadas por uma base de dados de múltiplos centros transplantadores dos Estados Unidos, as quais concretizaram o transplante de 272 rins no território norte-americano. Para MELCHER *et al.* (2012), as “correntes”, em teoria, oferecem vantagens sobre as *KPD* tradicionais, uma vez que possibilitam a troca de pares incompatíveis por pares compatíveis entre si por meio de algoritmos aplicados à base de dados de receptores.

Na opinião de MONTGOMERY *et al.* (2008), a oportunidade de transplante de rim entre pares incompatíveis pode ser vista como uma das mais importantes estratégias

para enfrentar a crise na disponibilidade de órgãos. De acordo com os autores, uma estimativa anual de 1000 a 2000 transplantes de rins poderia ser alcançada se programas de incentivo às “correntes” fossem implantados nos Estados Unidos.

Muitas compatibilizações doador/receptor podem ser realizadas localmente, entretanto, quando uma “corrente” combina doadores e receptores que vivem em cidades ou regiões diferentes, problemas logísticos podem ocorrer. Para SIMPKINS *et al.* (2007), a logística de compatibilizar doadores e receptores de uma grande região geográfica é um grande desafio para a implantação de um programa nacional de doação entre pares. Na opinião de MONTGOMERY *et al.* (2008), a necessidade de se atravessar grandes distâncias numa operação de compatibilização entre doador e receptor representa uma barreira significativa para a operacionalização logística de um programa nacional de *KPD*.

Nessas situações, normalmente há duas possibilidades. Uma delas é o doador do órgão viajar até a cidade do receptor para então realizar a cirurgia de retirada do órgão e, simultaneamente, realizar o transplante no receptor. A outra possibilidade é a retirada do órgão na própria cidade do doador e o envio do órgão embalado em solução de conservação para o local onde será realizada a cirurgia de transplante no seu receptor (MONTGOMERY *et al.*, 2008; BUTT *et al.*, 2009), método esse que já vem sendo comumente utilizado para as doações e transplantes de órgãos de doadores falecidos, mas que, por vezes, esbarra no fator tempo (MONTGOMERY *et al.*, 2008). Para VÁSQUEZ-SALCEDA *et al.* (2003), o tempo é um dos pontos chave quando se trata de órgãos, uma vez que estes só podem ser mantidos fora do corpo humano por um curto período.

2.1.2. Tempos de isquemia

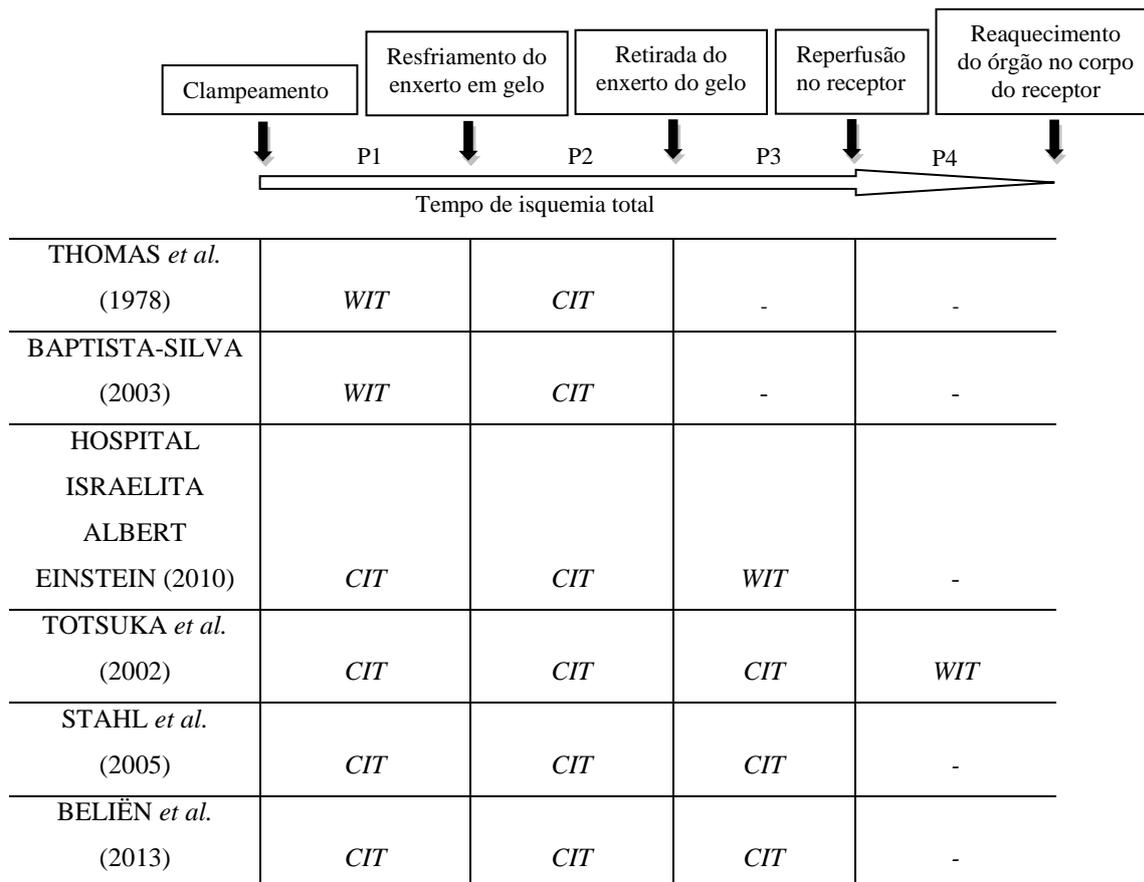
O tempo de isquemia total, pode ser compreendido como o somatório do tempo de isquemia fria com o tempo de isquemia quente. Ele representa o intervalo de tempo entre a parada circulatória do doador (no caso de doador falecido) até a reperfusão do enxerto no receptor (HOSPITAL ISRAELITA ALBERT EINSTEIN, 2010), ou até o seu reaquecimento dentro do corpo (TOTSUKA *et al.*, 2002).

Apesar de algumas contradições sobre a definição de *WIT*, sua contagem não é relevante para fins de transporte do órgão, uma vez que se restringe a um período de tempo decorrido dentro do centro cirúrgico, seja do doador (THOMAS *et al.*, 1978),

seja do receptor (TOTSUKA *et al.*, 2002; HOSPITAL ISRAELITA ALBERT EINSTEIN, 2010). Para THOMAS *et al.*, (1978) e BAPTISTA-SILVA (2003), o WIT compreende o período de tempo entre o clampeamento (parada circulatória por interrupção da artéria Aorta e início da infusão de líquidos de preservação) ou interrupção do fornecimento de sangue ao órgão e o resfriamento do enxerto em gelo, enquanto para TOTSUKA *et al.* (2002) e para HOSPITAL ISRAELITA ALBERT EINSTEIN (2010), o WIT inicia-se com a retirada do enxerto do gelo e sua reperfusão no receptor.

Por outro lado, o CIT é a variável mais importante para o transporte, pois é durante o seu decorrer que o órgão será trasladado entre seu doador e seu receptor, seja um transplante entre vivos ou de doador falecido. Na doação de falecidos, o CIT inicia-se com o clampeamento (TOTSUKA *et al.*, 2002; STAHL *et al.*, 2005; HOSPITAL ISRAELITA ALBERT EINSTEIN, 2010), e na doação de rim entre vivos com o pinçamento dos vasos renais (BATISTA-SILVA, 2003). Todavia, há opiniões contraditórias quanto ao seu término. Tanto para BAPTISTA-SILVA (2003) quanto para HOSPITAL ISRAELITA ALBERT EINSTEIN (2010), o CIT termina com a retirada do órgão do resfriamento, já no centro cirúrgico do hospital transplantador. Na opinião de THOMAS *et al.*, (1978), termina com a chegada do órgão no hospital de destino. Já para TOTSUKA *et al.* (2002) e STAHL *et al.* (2005), o fim do CIT é marcado pela reperfusão do enxerto no corpo do seu receptor. Pode-se entender que BELIËN *et al.* (2013) concordam com a última opinião, uma vez que definem o CIT como o máximo tempo em que o órgão pode ser mantido fora do corpo. A Figura 2.1 apresenta as opiniões dos diversos autores quanto aos tempos de isquemia dos órgãos.

Independente das opiniões dos autores sobre os períodos que compreendem o CIT, o WIT e o tempo de isquemia total, todos os autores concordam que o período P2 (veja Figura 2.1), onde se encontra o transporte do órgão entre doador e receptor, trata-se de um espaço de tempo compreendido pelo CIT. Dessa forma, esse período de tempo será importante para o desenvolvimento do presente trabalho, e considerar-se-á que o CIT é o tempo de preservação do órgão fora do corpo humano.



P: Período;
 CIT: Tempo de isquemia fria;
 WIT: Tempo de isquemia quente;
 -: Não citado pelo autor.

Figura 2.1: Opiniões sobre tempo de isquemia dos órgãos.

Fontes: THOMAS *et al.* (1978); HOSPITAL ISRAELITA ALBERT EINSTEIN (2010); TOTSUKA *et al.* (2002); STAHL *et al.* (2005); BELIËN *et al.* (2013).

Diversos tipos de solução de preservação já foram desenvolvidos para estender ao máximo o tempo de preservação dos órgãos fora do corpo humano (HOSPITAL ISRAELITA ALBERT EINSTEIN, 2010), principalmente com o intuito de permitir o transporte de órgãos entre centros transplantadores distantes entre si (COLLINS *et al.*, 1969). Algumas contradições também existem sobre o tempo máximo de CIT para cada tipo de órgão, em especial com relação ao rim (COLLINS *et al.*, 1969; BRUNI *et al.*, 2006; ABTO, 2009), porém, para efeitos deste estudo, consideram-se os tempos descritos por ABTO (2009), uma vez que se trata de uma publicação brasileira de uma instituição reconhecida em território nacional em matéria de transplante de órgãos.

Como demonstrado na Tabela 2.2, os diferentes tipos de órgãos possuem tempos máximos de preservação distintos entre si, sendo que o coração e os pulmões são os

órgãos com o menor tempo disponível (ABTO, 2009). O rim, por sua vez, tem um *CIT* variável, conforme o tipo de solução de preservação utilizado, sendo de até 24 horas para a solução Euro Collins (COLLINS *et al.*, 1969) e até 36 horas para a solução University of Wisconsin – UW (BELZER *et al.*, 1967).

Em termos gerais, os órgãos não devem ser utilizados depois de decorrido o *CIT* máximo correspondente (BRUNI *et al.*, 2006), do contrário, podem apresentar funcionamento ineficiente ou até mesmo resultar na falência do órgão transplantado (KONING *et al.*, 1997; ASDERAKIS *et al.*, 2001; TOTSUKA *et al.*, 2002; GOOI *et al.*, 2007; SALAHUDEEN e MAY, 2008; STAHL *et al.*, 2008; WOLFBRANDT *et al.*, 2010). Além disso, a dissecação do órgão preservado a frio por um período elevado de tempo pode tornar a cirurgia mais suscetível a danos e, conseqüentemente, mais arriscada (AYDIN *et al.*, 2008).

Tabela 2.2: Tempo máximo de preservação dos órgãos.

Órgão	<i>CIT</i> máximo
Coração	4 horas
Pulmões	4 a 6 horas
Intestino	6 a 8 horas
Fígado	12 horas
Pâncreas	Até 20 horas
Rins	Até 24 horas (solução E.Collins) e 36 horas (solução UW)

Fonte: ABTO (2009)

BRUNI *et al.* (2006) ressaltam que o transporte do órgão deve ser feito da maneira mais ágil possível, com o objetivo de aumentar a probabilidade de chegar ao seu receptor dentro do *CIT* aplicável. Para UEHLINGER *et al.* (2010), um transporte de longa distância pode afetar negativamente o *CIT* de um órgão. Alguns dos fatores impactantes nesse transporte são: o modo de transporte utilizado (carro, aeronave a hélice, aeronave a jato etc.), tempos de espera em aeroportos e condições meteorológicas (TOTSUKA *et al.*, 2002). Dessa forma, um transporte de longa distância pode ter um impacto negativo no *CIT* do órgão e deve ser evitado (TOTSUKA *et al.*, 2002; UEHLINGER *et al.*, 2010). Entretanto, a dimensão de alguns países e das regiões nas quais são divididos irão afetar as distâncias a serem percorridas para o órgão atingir seu receptor (STAHL *et al.*, 2005).

2.2. Modelos de transplante

Nos tópicos que se seguem, são apresentados alguns modelos de organizações de transplante adotados por países de referência no assunto, que são copiados por diversos outros países no mundo.

ÇAY (2012) considera que a alocação do órgão de um doador a um receptor é um dos mais críticos e importantes processos na logística do transplante de órgãos. A alocação pode ser entendida como a atribuição de um órgão, tecido ou célula a um candidato a transplante com base em uma série de regras (WHO, 2007). A alocação pode ser vista como o processo de determinar a maneira como os órgãos serão distribuídos, com base em políticas e procedimentos pré-definidos que assegurem a igualdade e a ética na distribuição (HRSA, 2012). Por distribuição, pode-se entender o transporte e a entrega de órgãos para aplicação em ser humano, após sua alocação (WHO, 2007).

Conforme descreve ÇAY (2012), há dois métodos de organização adotados ao redor do mundo para a alocação de órgãos, o centralizado e o hierárquico. No primeiro, aplica-se uma lista de espera única em todo o país e, por vezes, países que adotam o mesmo método podem criar um grupo de países com listas de espera combinadas entre si. Já no método hierárquico, a prioridade sobre os órgãos doados é dada aos recipientes locais, podendo ser um hospital, uma cidade ou até mesmo uma região. A adoção do método centralizado pode ser percebida em países menores, como Suíça (UEHLINGER *et al.*, 2010) e Bélgica (BELIËN *et al.*, 2013), enquanto o método hierárquico é percebido em países de grande extensão territorial (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2001; STAHL *et al.*, 2005; MATESANZ e DOMINGUEZ, 2007; FILLIPONI e DE SIMONE, 2009; RUDGE *et al.*, 2012).

Para GENÇ (2008), o gerenciamento eficiente da logística de transplante de órgãos pode ser atingido por meio da descentralização do gerenciamento dos serviços de saúde e da coordenação dos agentes envolvidos no processo. FILLIPONI *et al.* (2005) acreditam que as organizações de transplantes que adotam a figura do coordenador hospitalar de transplantes, como são os exemplos espanhol, italiano e francês, apresentam melhores resultados na colaboração entre os níveis nacional e regional e contribuem para a alocação justa dos órgãos.

Outro fator importante sobre o modelo de cada país é o “consentimento presumido”, que diz respeito à necessidade ou não de autorização familiar para a doação

de órgãos de pessoa falecida. SCHÜTT (1998) relata que países onde há legislação adotando o “consentimento presumido” apresentam maiores índices de doação que outros onde não se adota essa postura, uma vez que uma das maiores causas de não efetivação de doação é a recusa familiar.

2.2.1. O sistema espanhol de transplantes

Segundo CONSEJO DE EUROPA (2012), a Espanha ocupa uma posição de destaque no cenário mundial do transplante de órgãos, apresentando as maiores taxas de doações por milhão de pessoas (35,3 doações/pmp em 2011) e sendo o único grande país com desenvolvimento contínuo nas taxas de doação de falecidos por um período de mais de 10 anos, até o ano de 2003 (MATESANZ, 2003).

O sistema espanhol apresenta três níveis interligados de coordenação: nacional, regional e hospitalar. Esses níveis não diferem muito de outros países grandes, porém a figura do coordenador hospitalar de transplantes, ao contrário da estrutura extra-hospitalar de outros países, é considerada por muitos como o diferencial e um dos principais motivos do sucesso do chamado “Modelo Espanhol” (MATESANZ e DOMINGUEZ, 2007; RODRIGUEZ, 2009; MATESANZ *et al.*, 2011; RUDGE *et al.*, 2012).

O nível nacional é gerenciado pela *Organización Nacional de Trasplantes*, o regional é dividido em 17 regiões do país, e cada hospital espanhol é requisitado a indicar ao menos um médico como coordenador de transplantes em tempo parcial (SCHÜTT, 1998; MATESANZ *et al.*, 2003, 2011). A *ONT* atua como uma agência de suporte aos hospitais em busca de doações, além de atuar como um escritório central para o compartilhamento de órgãos entre as distintas regiões do país. O trabalho da *ONT* e dos escritórios regionais também inclui o auxílio a pequenos hospitais que não são capazes de desenvolver o processo completo de doação.

A alocação de órgãos na Espanha é feita em primeiro lugar para pacientes catalogados como “urgência zero”, aqueles que falecerão em 24 horas ou 48 horas caso não recebam um órgão. Para isso estão estabelecidos critérios clínicos e geográficos que indicarão para quem deve ir o órgão doado. Caso o hospital onde tenha falecido o doador seja um hospital transplantador e tenha uma lista de espera, o órgão fica no próprio hospital. Caso contrário, o órgão é oferecido a hospitais na mesma cidade ou

comunidade, e, após, na mesma região. Se não for encontrado receptor compatível, o órgão é oferecido nacionalmente (COLL, 2008).

Apesar da literatura não se referir diretamente a problemas relacionados ao transporte de órgãos, pode-se deduzir que estes estejam incluídos no percentual de problemas organizacionais relacionados à perda de órgãos na obra de MATESANZ *et al.* (2011), os quais representaram apenas 0,4% do total das doações no país entre 1999 e 2008. Segundo o autor, a organização ao redor do processo de doação de falecidos é a chave para o sucesso do sistema espanhol.

A Figura 2.2 apresenta um fluxograma do processo de alocação de órgãos no “Modelo Espanhol” de transplantes.

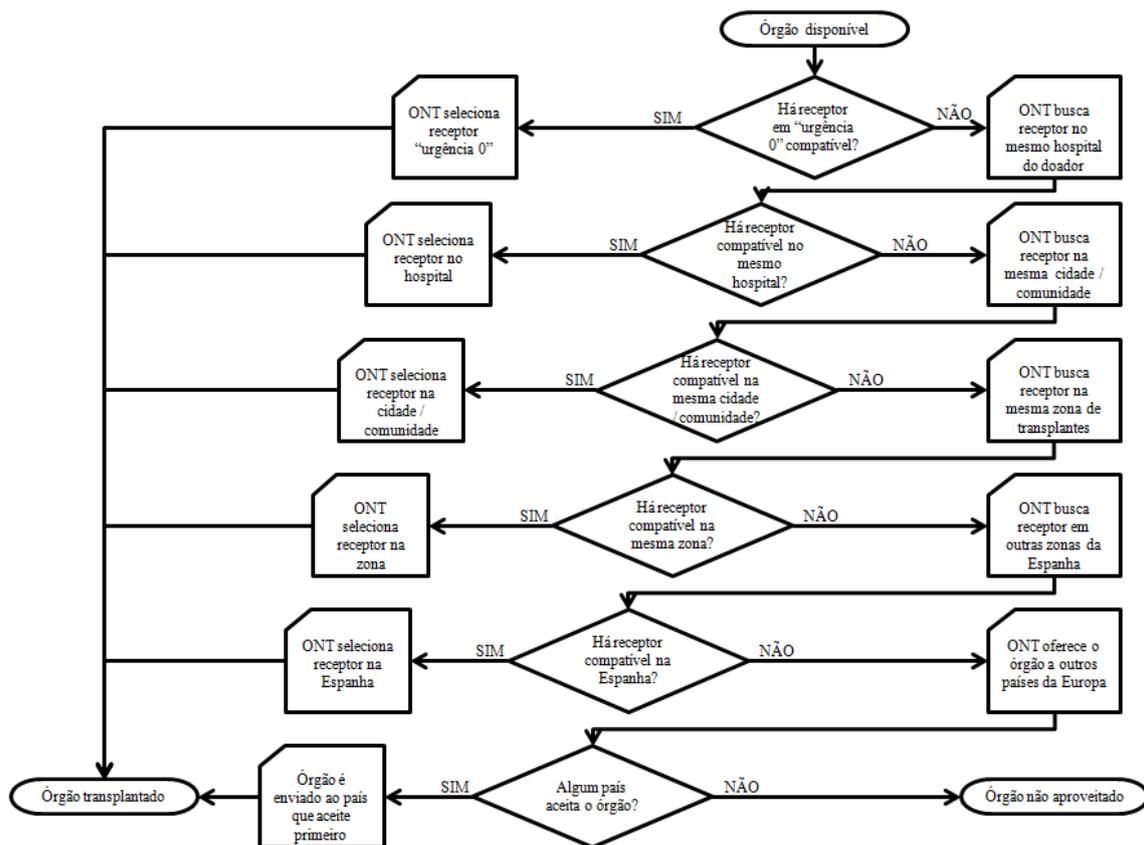


Figura 2.2: Resumo da alocação de órgãos no sistema espanhol de transplantes.

Fonte: Adaptado de COLL (2008).

2.2.2. O sistema norte-americano

Parecido com o sistema espanhol, a alocação de órgãos nos Estados Unidos segue um sistema hierárquico geográfico dividido em três níveis: o nível de

Organização de Procura por Órgãos (*Organ Procurement Organization – OPO*), o nível regional e o nível nacional (STAHL *et al.*, 2005). Entretanto, diferentemente do espanhol, a coordenação no nível local do sistema americano é extra-hospitalar.

As *OPO* são organizações designadas pelos serviços de saúde norte-americanos responsáveis pela busca de órgãos para transplante e pela promoção da doação de órgãos em seu território. As *OPOs* servem de ligação entre o doador e o receptor e são responsáveis por identificar potenciais doadores e pela retirada, preservação e transporte do órgão doado (GENÇ, 2008; HRSA, 2012).

Nos Estados Unidos há mais de 60 *OPOs*, as quais são atribuídas a uma respectiva região do país (SCHÜTT, 1998; GENÇ, 2008). O território é dividido em 11 regiões distintas, que podem variar em tamanho e número de *OPOs*. O tamanho da região afeta o tempo de transporte dos órgãos e a sua viabilidade para o transplante (STAHL *et al.*, 2005). Cada *OPO* colabora para sua unidade regional de transplante e para a Rede Unida para Compartilhamento de Órgãos norte-americana (*United Network for Organ Sharing – UNOS*) (SCHÜTT, 1998).

A *UNOS* é responsável pela operação do sistema da lista de espera nacional e da alocação de órgãos para transplante. Fazem parte da *UNOS* cada um dos centros de transplante, as *OPOs*, os laboratórios de histocompatibilidade, organizações voluntárias de saúde, organizações médicas científicas/profissionais e membros do público em geral (WILLIAMS *et al.*, 2004).

O Centro de Órgãos é um departamento da *UNOS* responsável por auxiliar a comunidade de transplantes dos Estados Unidos, dentre outras tarefas, na organização do transporte de órgãos para transplante que foram compartilhados entre diferentes unidades, para que esses cheguem adequadamente ao centro receptor (WILLIAMS *et al.*, 2004).

Como é destacado por RUDGE *et al.* (2012), cada hospital norte-americano é requerido a identificar e comunicar todos os potenciais doadores de órgãos à respectiva *OPO* local. A alocação de órgãos é feita de acordo com cada tipo de órgão ou conjunto de órgãos doados, sendo que, de uma maneira geral, busca-se primeiro uma alocação localmente, depois regionalmente e nacionalmente, obedecendo a critérios de urgência aplicáveis a cada órgão (STAHL *et al.*, 2005; OPTN, 2014).

Os números absolutos de transplantes nos Estados Unidos são os maiores de todo o mundo, assim como as listas de espera por órgãos. No final de 2011, mais de 55 mil pacientes esperavam por um transplante de rim no país, órgão que apresenta a maior

demanda por transplante (CONSEJO DE EUROPA, 2012). Segundo o estudo de TAKEMOTO *et al.* (2000), em outubro de 1987, a UNOS implantou um programa nacional de compartilhamento de rins com o objetivo de aumentar o número de transplantes desse órgão no país, e em 12 anos de programa mais de 7.500 rins foram compartilhados entre centros de 48 estados diferentes.

Na opinião de STAHL *et al.* (2005), regiões maiores têm a possibilidade de compartilharem mais órgãos dentro da sua própria região geográfica, o que aumenta as chances de compatibilidade intrarregional, porém também eleva os tempos de transporte dos órgãos. Regiões pequenas, por outro lado, apesar de terem tempos de transporte reduzidos, possuem redes de doação menores, o que reduz a capacidade de compatibilidade entre doadores e receptores intrarregionais.

A Figura 2.3 apresenta um fluxograma do processo de alocação de órgãos no sistema norte-americano de transplantes.

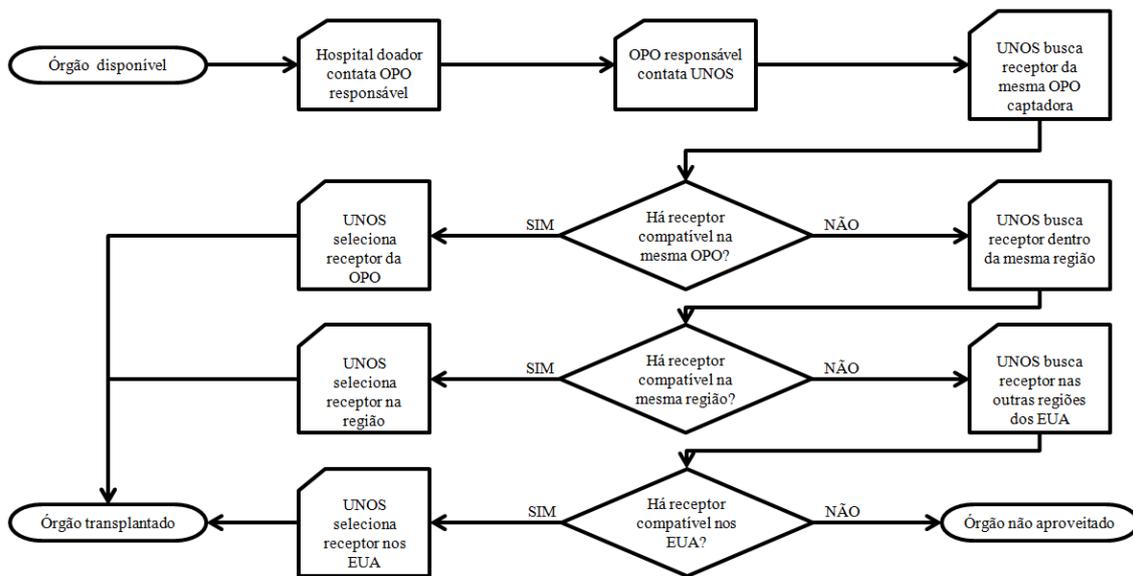


Figura 2.3: Resumo da alocação de órgãos no sistema norte-americano de transplantes.

Fonte: Adaptado de KONG *et al.* (2002) e STAHL *et al.* (2005).

2.2.3. O sistema brasileiro

Assim como nos modelos anteriores, o Sistema Nacional de Transplantes brasileiro adota um modelo hierárquico dividido a princípio em três grandes níveis, sendo eles o nível estadual, o nível regional e o nível nacional. São parte do SNT, o Ministério da Saúde e as Secretarias de Saúde dos Estados, do Distrito Federal e dos

Municípios, além dos estabelecimentos hospitalares autorizados e a rede de serviços auxiliares aos transplantes (BRASIL, 1997a). A Lei 9.434 dispõe sobre o transplante de órgãos em território brasileiro (BRASIL, 1997b) e o Decreto 2.268 regulamenta essa atividade nacionalmente (BRASIL, 1997a).

MINISTÉRIO DA SAÚDE (2001) distribuiu o território nacional em quatro regiões para fins de transplante, de acordo com a Tabela 2.3.

Tabela 2.3: Regiões para fins de transplantes.

Região	Estados
I	PR, RS, SC
II	ES, MG, RJ
III	AC, AM, AP, DF, GO, MS, MT, PA, RO, RR, SP, TO
IV	AL, BA, CE, MA, PB, PE, PI, RN, SE

Fonte: MINISTÉRIO DA SAÚDE (2001)

A Figura 2.4 ilustra a distribuição dos estados em regiões de transplante.

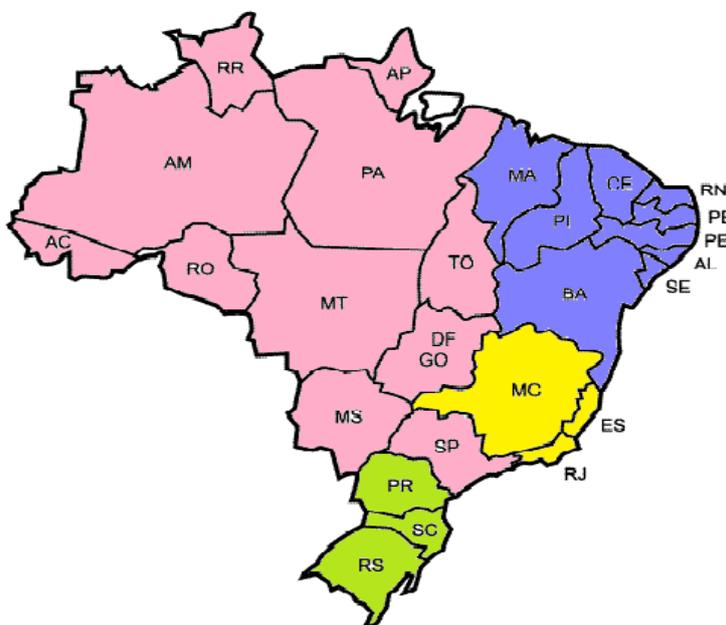


Figura 2.4: Organização regional para fins de distribuição de órgãos.

Fonte: HEINZEN (2013).

A Central Nacional de Notificação, Captação e Distribuição de Órgãos – CNNCDO, mais referida como Central Nacional de Transplantes, ou CNT, é vinculada ao Ministério da Saúde e é responsável por articular o trabalho entre as Centrais Estaduais, a fim de evitar o desperdício de órgãos não aproveitados dentro dos próprios estados da federação (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2001, 2012; SECRETARIA ESTADUAL DA SAÚDE – RS, 2013). As Centrais de Notificação, Captação e Distribuição de Órgãos – CNCDOs – são vinculadas às Secretarias de Saúde de cada estado e possuem entre suas atribuições a tarefa de coordenar as atividades de transplante em âmbito estadual, providenciar o transporte de órgãos dentro de seu estado e notificar à CNT a existência de órgãos não aproveitados entre receptores inscritos em seus registros (BRASIL, 1997a). Alguns estados maiores, como Minas Gerais, possuem CNCDOs que funcionam como Centrais Estaduais e outras que atuam em âmbito regional, vinculadas à Central Estadual (BRASIL, 1997a). Outros delegam parte das atribuições de sua Central Estadual a Organizações de Procura de Órgãos – OPOs (em São Paulo chamados de Serviços de Procura de Órgãos e Tecidos, ou SPOTs), assim como existe nos Estados Unidos (ABTO, 2009, 2013; MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2009b, 2012).

Nos estados onde existem OPOs ou estrutura semelhante, estas desempenham uma atividade operacional, enquanto as centrais atuam na coordenação e distribuição dos órgãos dentro dos estados (NUNES, 2010) e a Central Nacional na distribuição interestadual, na coordenação com companhias aéreas e na geração de informações e relatórios estatísticos (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2001). As OPOs são compostas por equipes que se deslocam entre os hospitais da região em busca de potenciais doadores (ABTO, 2009). Há, ainda, nos hospitais com mais de 80 leitos, as Comissões Intra-Hospitalares de Doação de Órgãos e Tecidos para Transplante – CIHDOTTs, que desempenham atividades dentro de suas unidades hospitalares, inspiradas no “Modelo Espanhol” do coordenador hospitalar (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2005; ABTO, 2009).

A alocação de órgãos no nível estadual é feita por meio das CNCDOs e obedece a critérios de urgência e geográficos, sendo que cada estado é dividido em regiões e alguns deles são divididos em subregiões (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2001). O órgão é primeiramente ofertado ao subnível mais baixo até chegar ao nível estadual, de acordo com a urgência e a data de inscrição do paciente na lista, podendo não ser observada a ordem em razão da distância e das condições de transporte entre doador e receptor (BRASIL, 1997a; MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2001).

Ainda não encontrando receptor para o órgão ofertado dentro do próprio estado, o órgão é oferecido pela CNCDO Estadual para a CNT, a qual ofertará o órgão primeiramente a outra CNCDO da mesma região que o doador, seguindo a lista de espera única nacional, e, caso ainda não encontre receptor, oferecerá aos outros estados do país (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2001).

A Figura 2.5 apresenta um fluxograma do processo de alocação de órgãos no sistema brasileiro de transplantes.

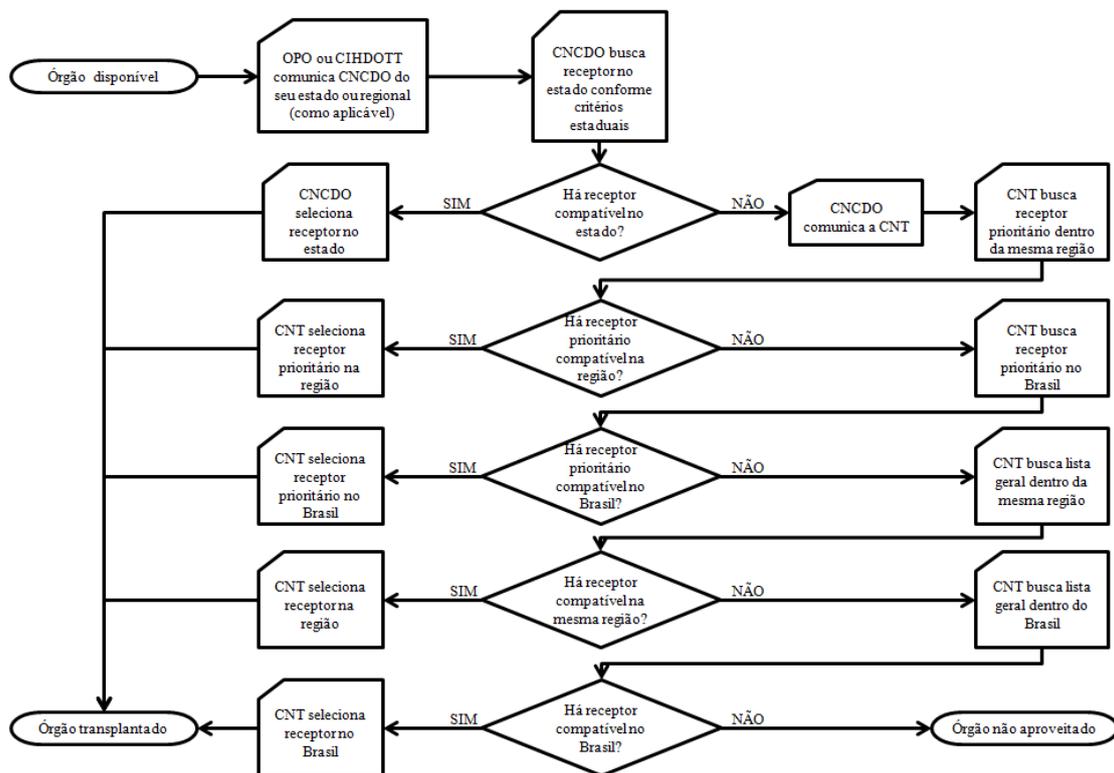


Figura 2.5: Resumo da alocação de órgãos no sistema brasileiro de transplantes.

Fonte: Adaptado de MINISTÉRIO DA SAÚDE (2001).

Dentre os trabalhos de distribuição de órgãos da CNT, deve ser considerada a possibilidade de efetivação do transporte do órgão entre doador e receptor e a distância entre os pares, levando-se em consideração a *CIT* máximo de cada órgão. Dadas as dimensões do território nacional e as distâncias entre os estados, o transporte aéreo é bastante utilizado na distribuição de órgãos entre diferentes unidades da federação. Dessa forma, selecionado o receptor, a CNT informa à CNCDO de origem os voos disponíveis e as companhias aéreas responsáveis para o transporte do órgão até o seu aeroporto de destino (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2001).

A ANVISA (2009) define o transporte de órgãos como o conjunto de atividades relacionadas ao acondicionamento, embalagem, rotulagem, sinalização, transferência, armazenamento temporário, transbordo, entrega e recebimento do órgão transportado, e para isso, publicou a Resolução-RDC nº 66 com o fim de normatizar as atividades de transporte de órgãos em hipotermia em território nacional para fins de transplantes.

A ANVISA (2009) estabelece ainda que o transporte de órgãos deve ser feito de maneira organizada e coordenada entre os agentes envolvidos, em tempo adequado, e garantindo a qualidade, segurança e integridade do órgão. A CNCDO de origem deve determinar o tempo máximo para a entrega do órgão no destino e, em ocasiões de transporte do órgão desacompanhado, ou seja, sem a presença de um profissional da saúde acompanhando-o, a CNT é responsável pela liberação do órgão para ser transportado. Em casos de não conformidade no transporte, a CNT deve ser informada do ocorrido pela companhia aérea.

Com relação ao “consentimento presumido” na doação de órgãos, até o início de 2001, todo cidadão brasileiro era considerado doador, a menos que se declarasse contrário (BRASIL, 1997b), porém, a partir de março daquele ano, a doação de órgãos de falecidos em território brasileiro passou a depender de autorização familiar (BRASIL, 2001).

2.2.4. Outros sistemas de transplante

Apesar da literatura sobre transporte de órgãos ser escassa, alguns artigos puderam ser encontrados. A maioria dos países adota sistema semelhante àqueles implantados na Espanha e nos Estados Unidos, seja em todo o seu território, seja em algumas regiões.

A Itália iniciou a adoção do “Modelo Espanhol” na região da Toscana, para então depois difundir e adaptá-lo no restante de seu território (MATESANZ, 2003). O sistema italiano possui atualmente um nível a mais que o espanhol e está organizado nos níveis local, regional, interregional e nacional (FILLIPONI *et al.*, 2005). Para FILLIPONI e DE SIMONE (2009), iniciativas tomadas em níveis local, regional ou nacional são capazes de melhorar a eficiência da rede de transplantes do país e ressalta, ainda, que o compartilhamento interregional é uma das maneiras de melhorar os métodos de alocação de órgãos.

O sistema de transplantes italiano é representado por coordenadores hospitalares no nível local, 20 centros regionais de transplante, três centros interregionais e um Centro Nacional de Transplantes (FILLIPONI *et al.*, 2007).

FILLIPONI *et al.* (2007) acreditam que uma rede eficiente de doação e transplante deve focar em todos os aspectos relacionados a essas atividades, incluindo o envio dos órgãos. Na Itália, cada região doadora é responsável pelo envio dos órgãos a serem compartilhados. PRETAGOSTINI *et al.* (2005) consideram que um modelo baseado na alocação de órgãos por regiões apresenta uma relação custo/benefício melhor que um modelo centralizado na medida em que reduz os custos de transporte dos órgãos, porém, tanto PRETAGOSTINI *et al.* (2005) quanto FILLIPONI e DE SIMONE (2009) destacam que o sistema de alocação interregional italiano permite o crescimento da rede de receptores melhorando assim a compatibilidade doador/receptor em território nacional.

Outro bom exemplo que cabe ressaltar é a cooperação entre países, como é o exemplo da Eurotransplant. A Eurotransplant engloba oito países diferentes que cooperam entre si na doação e transplante de órgãos. Fazem parte dessa rede: Áustria, Bélgica, Croácia, Alemanha, Hungria, Luxemburgo, Holanda e Eslovênia. Desses países, somente Alemanha e Holanda não adotam o “consentimento presumido” na doação de órgãos (EUROTRANSPLANT, 2013).

Na região da Eurotransplant há mais de 1.600 hospitais doadores, mais de 70 centros transplantadores e juntos os países alocam anualmente mais de sete mil órgãos (EUROTRANSPLANT, 2013). Com essa cooperação, há a possibilidade dos órgãos serem alocados localmente, dentro de cada país, ou de serem compartilhados entre os diferentes países, situação em que se utiliza o transporte aéreo (BELIËN *et al.*, 2013).

Na região da América Latina, junto com os países ibéricos, há o chamado Grupo Punta Cana. Diferente do Eurotransplant, as atividades do grupo ibero-americano não incluem o compartilhamento de órgãos entre os países participantes, mas sim a troca de experiência entre países onde o transplante de órgãos é mais desenvolvido com outros que apresentam baixos números da atividade em seus territórios, com o objetivo de elevar o nível e a qualidade dos serviços de transplante em regiões menos favorecidas (GRUPO PUNTA CANA, 2013).

O Grupo Punta Cana foi formado em 2001 e conta com a participação de, Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Costa Rica, Cuba, Equador, El Salvador, Espanha, Guatemala, Honduras, México, Nicarágua, Panamá, Paraguai, Peru, Portugal,

República Dominicana, Uruguai e Venezuela. Desde sua formação, já foi possível observar uma melhora nas taxas de doação e transplante de órgãos. Hoje, a maioria dos países conta ao menos com programas de transplante renal e pode-se observar um aumento significativo nos transplantes de rim nos países da América Latina, representando aproximadamente 12% dos transplantes desse órgão no mundo. (GRUPO PUNTA CANA, 2013).

2.3. Transplantes versus listas de espera

O Brasil é o segundo país do mundo em números absolutos de transplante de órgãos (CONSEJO DE EUROPA, 2012). O custeio de mais de 90% das cirurgias de transplante realizadas no país por parte do Sistema Único de Saúde – SUS – representa a primeira posição mundial em termos de dispêndios públicos com atividades de transplantes (MEDINA-PESTANA *et al.*, 2004; MARINHO, 2006; ABTO, 2012).

Ao longo dos anos, o país vem elevando as suas taxas de doações por milhão de pessoas (pmp), porém, ainda apresenta um número baixo quando comparado com países de referência. A taxa de 12,4 doações pmp apresentada no ano de 2012 é maior que a de 11,2 doações pmp de 2011, mas ainda é menor do que a taxa de qualquer país da Europa Ocidental ou América do Norte (CONSEJO DE EUROPA, 2012, 2013).

A Tabela 2.4 apresenta uma comparação entre as listas de espera brasileiras em 2011 e 2012 e também os números de transplantes e falecimentos durante 2012 em decorrência da ausência de um órgão.

Tabela 2.4: Números de transplantes (2012) e listas de espera (2011-2012).

	Órgão				
	Rim	Fígado	Coração	Pulmão	Pâncreas
Lista de espera (2011)	19.486	1.138	201	144	21
Transplantes (2012)	5.387	1.576	227	81	151
Falecidos na lista (2012)	250	150	37	21	10
Lista de espera (2012)	19.926	1.256	205	162	484

Fonte: CONSEJO DE EUROPA (2012, 2013)

Pela análise da Tabela 2.4, pode-se perceber um aumento nas listas de espera de todos os órgãos de 2011 para 2012, havendo assim uma necessidade ainda maior de se

elevar não somente os números de doações, mas a concretização dos transplantes dos órgãos doados.

De janeiro a setembro de 2013, ABTO (2013) registrou ao todo 6.587 notificações de potenciais doadores de órgãos, dos quais apenas 29% se tornaram doadores efetivos e aproximadamente 27% tiveram seus órgãos realmente transplantados.

Segundo ABTO (2013), dentre as principais causas da não concretização da doação de órgãos estão:

- Recusa familiar: 29,3%;
- Contra indicação médica: 12,8%;
- Parada cardíaca: 14,9%;
- Outros motivos: 14,2%.

Dentre os 14,2% atribuídos a outros motivos para a não concretização de uma doação estão incluídos os problemas no transporte. MEDINA-PESTANA *et al.* (2004) destacaram em seu estudo a disparidade entre os transplantes de rins dentre as cinco regiões políticas do país, o que também pode ser percebido com relação aos outros tipos de órgãos (ABTO, 2013).

2.4. Considerações finais do capítulo

Ao término do presente capítulo é possível assimilar os principais conceitos a respeito do transplante de órgãos. A compreensão do significado de tempo de isquemia, em especial o *CIT*, é bastante relevante para o andamento dos próximos temas a serem tratados nos capítulos subsequentes, principalmente para o desenvolvimento dos modelos matemáticos tratados nesta dissertação.

As breves descrições dos modelos espanhol e norte-americano de transplantes embasam o desenvolvimento do sistema brasileiro. Como demonstrado nos dados apresentados, o SNT aponta importantes avanços nos últimos anos, mas ainda poderiam ser implementadas melhoras para evitar possíveis desperdícios de órgãos e, assim, possibilitar que mais vidas sejam salvas por meio dos transplantes e que as filas de espera sejam reduzidas.

3. O FATOR TEMPO E O TRANSPORTE DE ÓRGÃOS

Neste capítulo, destaca-se a importância que o tempo representa para a qualidade dos órgãos a serem transplantados. Tendo como foco o transporte do órgão no menor tempo possível, apresenta-se uma revisão bibliográfica destacando os efeitos que o tempo de isquemia fria (*CIT*) tem sobre o de alguns tipos de órgãos. As consequências do *CIT* mereceram destaque especial para o caso dos rins devido à sua particularidade em poder ser captado tanto de doadores falecidos quanto de doadores vivos.

Por fim, apresenta-se um tópico de como o transporte de órgãos é estudado em alguns países tidos como referência no assunto e ainda alguns trabalhos de otimização ligados ao transporte de órgãos para transplante.

3.1. A influência do tempo para o transplante

A partir do momento em que se inicia o processo de doação de um órgão, o tempo passa a ser a principal restrição, uma vez que o órgão doado terá um curto intervalo desde a sua alocação ao receptor adequado até a execução da cirurgia em seu corpo (FUZZATI, 2005). Apenas neste curto espaço de tempo, o órgão doado pode ser utilizado para o transplante (MORENO *et al.*, 2001). UEHLINGER *et al.* (2010) destacam que um tempo elevado de permanência de um órgão fora do corpo representa um impacto negativo nos resultados do transplante desse órgão.

3.1.1. O tempo de transporte

UEHLINGER *et al.* (2010) discorrem em seu estudo que um tempo de isquemia fria elevado tem uma influência negativa nos resultados de um transplante de órgãos. Dentre os fatores que podem influenciar esses resultados estão a alocação do órgão e o transporte deste entre o doador e o receptor (SCHNITZLER *et al.*, 2007), uma vez que seu deslocamento por longas distâncias frequentemente impacta em um maior *CIT* (GENÇ, 2008) e, conseqüentemente, na redução da sobrevivência do enxerto em longo prazo (GOOI *et al.*, 2007). Dessa maneira, para SCHNITZLER *et al.* (2007), é de suma importância levar em consideração as diversas maneiras de redução dos fatores de risco da isquemia para o transplante do órgão.

Assim, com o objetivo de se reduzir o *CIT* ao máximo possível, alguns autores destacam a relevância de um transporte ágil e a eficácia na execução desse transporte

(MORENO *et al.*, 2001; SALAHUDEEN e MAY, 2008), tendo em vista que, além do tempo normal do transporte em si, variáveis contribuintes, como atrasos de tráfego, escolha de rotas e até mesmo condições meteorológicas, podem prolongar o *CIT* de um órgão (THOMAS *et al.*, 1978; MORENO *et al.*, 2001; SIMPKINS *et al.*, 2007; MARTÍN *et al.*, 2008).

3.1.2. O *CIT*

ELGUETA *et al.* (2010) consideram que o *CIT* é um dos fatores determinantes para a evolução de um transplante de rim. A preservação prolongada de um rim a baixas temperaturas pode evoluir para danos significativos ao órgão, podendo causar o chamado funcionamento retardado do enxerto (*delayed graft function – DGF*) e a consequente perda do enxerto (SALAHUDEEN e MAY, 2008). Assim como para SALAHUDEEN e MAY (2008), ASDERAKIS *et al.* (2001) e ROODNAT *et al.* (2003) concordam que o tempo de isquemia fria está associado ao bom funcionamento do enxerto e de ambos depende a sobrevivência do órgão em seu receptor. O *DGF*, também na opinião de KONING *et al.* (1997), é um importante complicador para o transplante renal e o *CIT*, apesar de não ser o único fator contribuinte para o *DGF*, aumenta significativamente sua incidência e gera efeitos na sobrevivência do rim captado de um doador cadáver.

Tanto SIMPKINS *et al.* (2007) quanto SALAHUDEEN e MAY (2008) consideram o *DGF* no transplante renal como a necessidade de tratamento de diálise para o receptor do rim durante a primeira semana pós-transplante. A diálise, por sua vez, é definida por HRSA (2012) como um processo mecânico de execução parcial das funções do rim, incluindo o correto balanço químico e de fluidos no corpo e a remoção dos resíduos. Em consequência, a sobrevivência do enxerto pode ser medida pelo tempo em que o órgão funciona com sucesso após ter sido transplantado.

ASDERAKIS *et al.* (2001) desenvolveram um estudo sobre os efeitos do *CIT* em rins captados de doadores falecidos jovens (abaixo de 55 anos) e de idade avançada (55 anos ou mais). Concluiu-se que um *CIT* prolongado de mais de 20 horas de preservação teve um efeito em ambos os grupos, sendo que nos rins provenientes de doadores de idade avançada a sobrevivência do órgão após cinco anos foi reduzida em 9%, enquanto que aqueles provenientes de doadores jovens tiveram uma redução de 18%. ASDERAKIS *et al.* (2001) estimaram que uma redução do *CIT* para menos que 20

horas de duração, em uma unidade transplantadora que execute aproximadamente 160 transplantes por ano, poderia gerar um resultado de nove pacientes a menos retornando para a lista de espera por um rim em cinco anos após ser transplantado. Os autores ainda destacam que nenhum tratamento médico é capaz de atingir um benefício comparável a este.

Já SUMMERS *et al.* (2010) estudaram transplantes de rins provenientes de doadores após parada cardíaca e concluíram que, nessas condições, um *CIT* de mais de 12 horas já seria o suficiente para trazer consequências negativas para a sobrevivência do enxerto, apesar de ABTO (2009) estabelecer que o *CIT* máximo de um rim seja de até 24 horas ou 36 horas, dependendo da solução de preservação utilizada.

SALAHUDEEN e MAY (2008) pesquisaram mais de 80 mil transplantes de rim nos Estados Unidos entre os anos de 1990 e 2000. Em seu estudo, foi identificada a perda do *CIT* máximo em 10,6% dos casos. Nos casos restantes, pode-se verificar uma redução global do *CIT* em 4,8 horas, com apenas alguns poucos rins tendo sido armazenados em isquemia fria por mais de 30 horas na segunda metade do período estudado. SALAHUDEEN e MAY (2008) ainda identificaram que as taxas de sobrevivência de três anos foram significativamente mais baixas para os rins com *CIT* de mais de 20 horas do que para aqueles com *CIT* de até 10 horas.

ELGUETA *et al.* (2010), por sua vez, trabalharam com pesquisa de transplantes renais realizados no Chile no ano de 2008. Os autores identificaram que, dos 201 casos estudados, 10,0% dos pacientes receberam o transplante em até 10 horas, 19,9% entre 10 e 15 horas, 26,4% entre 15 e 20 horas, 29,3% entre 20 e 25 horas e 14,4% em mais de 25 horas.

Os autores citados, além de outros como WOLFBRANDT *et al.* (2010), apontam que o *CIT* possui influência negativa no transplante de rins a partir de doadores falecidos e, até mais que isso, pode-se relacionar o aumento do *CIT* ao transporte do rim, como feito por KONING *et al.* (1997) e SALAHUDEEN e MAY (2008), o que nos leva a concluir que, quanto mais tempo leva o transporte, piores são as consequências para o receptor do órgão. Neste caso, a redução do *CIT* por meio do encurtamento das distâncias percorridas ou dos tempos de deslocamento poderia ser associada a um melhor funcionamento do rim transplantado (SALAHUDEEN e MAY, 2008).

No estudo de ELGUETA *et al.* (2010), o *CIT* médio dos transplantes realizados foi de 18,8 horas, sendo de 16,9 horas para os rins transplantados localmente e 20,2

horas para aqueles compartilhados entre diferentes centros, ou seja, envolvendo o transporte do órgão doado

Já KONING *et al.* (1997) pesquisaram 547 doações de rim por doadores de múltiplos órgãos e as compararam com resultados de rins doados por doadores exclusivos de rins. A pesquisa apresentou uma taxa média de 24% de *DGF* para os rins compartilhados por centros transplantadores distantes entre si e transportados entre esses centros.

Por associações com os transplantes de rim de doadores falecidos, alguns autores como SIMPKINS *et al.* (2007), MONTGOMERRY *et al.* (2008) e SEGEV *et al.* (2011) acreditam que muitas pessoas tenham receio de transportar rins também nas doações entre vivos, já que, nesse caso, é possível substituir o transporte do órgão acondicionado em solução de preservação pela viagem do doador até o hospital em que se encontra o receptor. Entretanto, a necessidade do doador viajar ao encontro do receptor do seu órgão também é tida como um grande obstáculo para a concretização da doação de rim entre vivos.

SIMPKINS *et al.* (2007) acreditam que o dilema da viagem do doador *versus* o transporte do órgão acondicionado em solução até seu receptor seja a maior barreira para a concretização de um programa de doação entre pares. Para eles, a viagem do doador envolve despesas significantes e não reembolsáveis, além de sua separação de seus entes e familiares em um momento de apoio fundamental. Por isso, os autores desenvolveram um estudo a fim de comprovar a viabilidade do transporte de rins de doadores vivos.

MONTGOMERRY *et al.* (2008) e SEGEV *et al.* (2011) concordam que o *CIT* não parece afetar os resultados de doações entre vivos da mesma maneira que afeta as doações de pessoas falecidas. Para MONTGOMERRY *et al.* (2008), os argumentos daqueles que são contra o transporte de órgãos para transplante estão focados principalmente nos efeitos do tempo de isquemia fria, mas mesmo concordando que a elevação do *CIT* ocasiona um aumento no estresse biológico do órgão, os autores entendem que os impactos em curto e longo prazo dessa extensão de tempo no desempenho de rins de doadores vivos são um tanto desconhecidos.

Na tentativa de dirimir esta dúvida, SIMPKINS *et al.* (2007) apontam que os dados relativos aos efeitos do *CIT* em rins provenientes de doadores falecidos não podem ser extrapolados para aqueles advindos de doadores vivos, tendo em vista que órgãos de doadores falecidos estão expostos a lesões adicionais associadas com a morte

cerebral e, nos casos de doadores com parada cardíaca, tempos de isquemia quente prolongados.

Por essa razão, SIMPKINS *et al.* (2007) destacam em seu estudo a preocupação sobre o transporte de órgãos provenientes de doadores vivos em decorrência dos resultados negativos apresentados pelo prolongamento do *CIT* em órgãos de doadores falecidos e concluem que a manutenção do *CIT* em menos de 8 horas de duração, apesar de demonstrar um pequeno aumento nas taxas de *DGF*, não demonstra diferenças na função renal e na sobrevivência do rim transplantado de doadores vivos em longo prazo, o que torna esse tipo de transporte viável.

Cabe destacar que, diferente do transplante a partir de falecido, a doação entre vivos permite um melhor planejamento logístico e, assim, um maior controle sobre o tempo de isquemia fria. Sendo assim, na opinião de SIMPKINS *et al.* (2007), a maior parte dos rins de doadores vivos é exposta a durações de *CIT* mais curtas que aquelas sofridas por órgãos de doadores falecidos. Em seu estudo, os autores analisaram mais de 38 mil casos de transplante renal entre vivos, dos quais 85,1% receberam o órgão com até 2 horas de *CIT*, 12,1% de 2 a 4 horas, 1,8% de 4 a 6 horas e 1,0% de 6 a 8 horas.

SACK (2012) apresentou em seu estudo o transporte com sucesso de um rim armazenado por quase 12 horas, proveniente de um doador vivo. O autor destacou que nenhum estudo anterior encontrou evidências de que o transporte de rins por longas distâncias, pelo tempo de 12 horas, afeta as funções imediatas do órgão. Nessa mesma linha, MELCHER *et al.* (2012) pesquisaram 54 correntes de transplantes de rim nos Estados Unidos. Em seu artigo, MELCHER *et al.* (2012) destacam 47 casos em que os órgãos foram transportados entre doador e receptor, dos quais 14 rins viajaram de uma costa a outra do território norte-americano, com um *CIT* médio de 12 horas (de 7 a 17 horas de alcance), sem que fosse relatado nenhum caso de funcionamento retardado do enxerto.

BUTT *et al.* (2009) também estudaram uma corrente de transplante de rim que envolveu o transporte de quatro rins de doadores vivos por longas distâncias, apresentando um *CIT* mínimo de 8 horas e um máximo de 14 horas. Na sua pesquisa, os autores destacam que não houve efeitos adversos dos órgãos transportados e posteriormente transplantados e nenhum dos pacientes necessitou de diálise durante a primeira semana pós-transplante.

Apesar das diferenças nos resultados dos transplantes de doadores vivos e falecidos, WAKI e TERASAKI (2007) ressaltam em seu trabalho que o tempo de

isquemia fria dos órgãos não é a diferença principal entre esses dois tipos de doação, mas sim a alta qualidade do órgão doado por pessoa viva que resulta em uma elevada taxa de sobrevivência. Os autores apontam, ainda, que, apesar do *CIT* resultar em *DGF*, o dano ao órgão é temporário e apresenta um efeito muito pequeno no órgão e no paciente em longo prazo. Para eles, o *CIT* não danifica os rins de doadores falecidos permanentemente, mesmo que um aumento do *DGF* seja percebido.

Mais ainda do que no caso renal, o *CIT* no transplante de coração é um fator determinante para a sobrevivência do órgão doado em longo prazo (GOOI *et al.*, 2007). O coração é o órgão que apresenta o menor valor de *CIT* máximo, apenas 4 horas (ABTO, 2009), o que ressalta na importância do seu transplante ser realizado no menor tempo possível.

No estudo de GOOI *et al.* (2007), os autores revelam que uma redução do *CIT* para menos de uma hora de duração poderia resultar num acréscimo significativo em anos de vida por coração doado. SCHNITZLER *et al.* (2007) apontam que, em 2004, 2016 corações transplantados nos Estados Unidos produziram um benefício total de 29.182 anos de vida para pacientes transplantados e que esse benefício poderia ser acrescido de 2.874 anos (9,8% a mais) se todos os corações tivessem sido transplantados com menos de uma hora de tempo de isquemia. Segundo a pesquisa dos autores, o risco de morte do paciente internado aumenta 27% para cada hora a mais de *CIT*.

De acordo com o estudo conduzido por HRSA (2012), o tempo total médio de isquemia de coração nos EUA, compreendido pelo *CIT*, o *WIT* e o tempo de anastomose (ligação dos vasos sanguíneos), era de 3 horas em 1998 e passou para 3 horas e 15 minutos em 2011. Para GOOI *et al.* (2007), medidas para minimizar o *CIT*, como a melhora dos processos de alocação e transporte do órgão, poderiam impactar positivamente na sobrevivência em longo prazo e também na manutenção de uma potencial rede de doação de órgãos.

No que diz respeito ao transplante de fígado, STAHL *et al.* (2008) defendem a ideia de que o *CIT* pode ser a informação necessária mais importante para uma equipe de transplante hepático antes de se aceitar um órgão oferecido por outro centro transplantador. Na opinião de TOTSUKA *et al.* (2002), um dos maiores motivos para a falha do enxerto hepático se dá por lesão causada por *CIT* prolongado, o que pode resultar ainda em decréscimo nas taxas de sobrevivência do órgão.

TOTSUKA *et al.* (2002) pesquisaram a relação entre o *CIT* e a distância de transporte do fígado doado entre seu doador e seu receptor, além dos efeitos adversos na sobrevivência do enxerto no caso de um *CIT* prolongado. Os autores concluíram que a perda do órgão transportado por longas distâncias é significativamente maior que aqueles transportados por curtas distâncias.

No estudo de TOTSUKA *et al.* (2002), os casos foram divididos em dois grandes grupos em que o transplante se deu em até 12 horas de *CIT* ou mais de 12 horas de *CIT*. Tais grupos foram então subdivididos em até 6 horas de *CIT*, entre 6 e 12 horas, entre 12 e 18 horas e mais de 18 horas. TOTSUKA *et al.* (2002) identificaram taxas de perda do enxerto de 8,2% para os casos de até 12 horas de *CIT* e 25% para casos de mais de 12 horas de *CIT*. Além disso, concluíram que as taxas se elevaram entre os subgrupos com maior *CIT*.

Em paralelo a isso, TOTSUKA *et al.* (2002) definiram grupos de 200 em 200 milhas, relativos à distância percorrida pelo órgão doado. A frequência de perda de enxerto hepático se apresentou maior nos grupos com maior distância percorrida e os autores concluíram que quanto maior a distância, maior é o *CIT* e, conseqüentemente, menor é a taxa de sobrevivência do enxerto.

Com relação ao pulmão, não foram encontradas muitas publicações relacionadas às conseqüências do *CIT*. O estudo de HRSA (2012) aponta que o tempo total médio de isquemia do órgão nos EUA foi de 4 horas e 20 minutos em 1998 e passou para 5 horas e 10 minutos em 2011. Não foram encontradas publicações relevantes sobre o *CIT* no transplante de pâncreas e de intestino.

3.2. Transporte no transplante de órgãos

Em 1969, nos Estados Unidos, COLLINS *et al.* (1969) demonstraram ser possível manter rins caninos em solução de preservação por até 30 horas, o que permitiria transportá-los por longas distâncias. No mesmo ano, nasceria o programa piloto para aumentar a utilização de órgãos e diminuir os custos com seu transporte no país, o que se tornaria, posteriormente, a Rede de Procura e Transplante de Órgãos dos Estados Unidos (*Organ Procurement and Transplantation Network – OPTN*) (WILLIAMS *et al.*, 2004). Anos depois, TANAKA *et al.* (1971) descreveram o transporte dos primeiros 83 rins humanos realizado em território norte-americano.

Em um sistema de transplantes hierárquico, frequentemente, órgãos são compartilhados entre centros transplantadores dentro de uma mesma região, em prol de uma máxima utilização (WILLIAMS *et al.*, 2004), porém, em ocasiões que não seja possível encontrar um receptor compatível localmente, os órgãos são compartilhados regional ou nacionalmente (VAN DER WERF *et al.*, 1998). Um melhor compartilhamento de órgãos requer uma comunicação rápida e integrada, combinada com a distribuição ágil do órgão doado (WILLIAMS *et al.*, 2004).

De acordo com MORENO *et al.* (2001), no momento em que um órgão encontra-se disponível, no mínimo três questões devem ser levadas em conta: o receptor mais apropriado deve ser localizado, o órgão deve ser enviado ao hospital do receptor e todos os elementos necessários para a cirurgia devem estar prontos no momento de chegada do órgão.

FUZZATI (2005), por sua vez, destaca em seu estudo que o processo de transplante de um órgão é composto por duas etapas distintas, a etapa de procura e a etapa de cirurgia. Entende-se por procura o procedimento de combinar as características clínicas do órgão doado com o receptor adequado, seguindo processos de seleção pré-definidos. A fase de procura inclui, além do planejamento das equipes envolvidas no processo de transplante, o gerenciamento de soluções logísticas para tornar possível a correta distribuição do órgão ao seu receptor e em um tempo adequado, foco do presente estudo.

O gerenciamento eficiente da alocação e do sistema de transporte é importante e deve ser levado em consideração para o sucesso de um programa nacional de compartilhamento de órgãos (VAN DER WERF *et al.*, 1998; GENÇ, 2008).

A falta de organização dos sistemas de transporte, entretanto, traz preocupações para alguns autores. MONTGOMERY *et al.* (2008) ressaltam a preocupação com a perda do órgão durante o trânsito e destacam que em seu estudo foi utilizado um dispositivo de *GPS (Global Positioning System)* na embalagem do órgão transportado, a fim de reduzir tal risco, além de ajudar a equipe receptora do órgão a planejar os preparativos para a operação de transplante.

SEGEV *et al.* (2011) citam que atrasos no transporte de órgãos de doadores falecidos não são incomuns. Para confirmar as suposições, o estudo de STEWART *et al.* (2012) demonstrou que, de 3.435 casos de transportes de órgãos pesquisados, em 1,5% deles ocorreram falhas, resultando em 50 descartes de órgãos, além de 1,7% de situações de quase perda do órgão transportado. Aparentemente, parece um percentual

baixo, porém que representa diversas vidas que poderiam ser salvas caso os órgãos não fossem descartados.

Das situações adversas, STEWART *et al.* (2012) classificaram 64,9% dos casos como falha humana ou de sistema. Assim, SEGEV *et al.* (2011) consideram que o ideal é, se possível, buscar um transporte direto ao destino final do órgão a ser transportado ao invés de submetê-lo ao risco de uma possível perda do órgão em um aeroporto de parada ou o atraso de uma escala ou conexão.

Nessa mesma linha, BROCKMANN *et al.* (2008) destacam em seu trabalho que 14% dos órgãos não compartilhados entre diferentes centros de transplante são reportados como danificados contra um total de 29% daqueles que foram compartilhados e, conseqüentemente, transportados, incluindo os danos em razão do *CIT* elevado. MATESANZ e DOMINGUEZ (2007) acrescentam que a maneira como os órgãos são manuseados e preservados antes e durante o transporte é um fator crítico para se obter bons resultados no transplante. Os autores apontam que diversos órgãos são danificados todos os anos não apenas na sua cirurgia de retirada, mas também durante o transporte, e que alguns poderão ser reparados, mas outros terão que ser descartados.

No trabalho desenvolvido por MONTEIRO (2011), o transporte dos órgãos foi identificado como o maior gerador de desperdícios de tempo para a finalização de um processo completo de transplante. Apesar da autora tratar somente do transporte terrestre, reconhece-se que um atraso no transporte terrestre pode ter grande impacto na concretização de um transporte aéreo, em decorrência da sua natureza multimodal, uma vez que pode inviabilizar a tomada de um voo com horário pré-definido.

Por essa razão, alguns países como o Brasil e os Estados Unidos, padronizaram os procedimentos para embalagem, acondicionamento, rotulagem, identificação e documentação dos órgãos a serem transportados (VAN DER WERF *et al.*, 1998. ANVISA, 2009). Além da segurança no manuseio do órgão, a padronização visa a facilitar a transferência de informações ao centro transplantador e a garantir o controle de qualidade (VAN DER WERF *et al.*, 1998).

Adicionalmente, para VAN DER WERF *et al.* (1998), os coordenadores de transplante devem estar familiarizados com os requisitos de embalagem e rotulagem para prevenir atrasos desnecessários durante o transporte. Devem-se definir as condições e o tempo máximo para a realização do transporte do órgão a fim de manter suas propriedades biológicas e funcionais (ESPANHA, 2006).

No Brasil, a ANVISA (2009) estabelece que o remetente do órgão deva elaborar o plano de transporte no qual constará o tempo máximo para sua entrega ao hospital receptor e as providências a serem tomadas em casos de acidentes. Além disso, na embalagem externa devem constar a data e a hora de início da isquemia fria, para fins de controle do *CIT*, e o tempo máximo de entrega do órgão ao hospital que procederá com o transplante. O transportador do órgão fica responsável por seguir as orientações definidas e por entregá-lo nas mesmas condições que recebeu e no prazo estabelecido. Além disso, a ANVISA (2009) destaca que o transporte do órgão deve ser organizado e coordenado entre os participantes do processo com o objetivo de chegar ao seu destino em tempo adequado, garantindo sua qualidade, segurança e integridade.

THOMAS *et al.* (1978) apresentam um exemplo dessa organização e coordenação em seu estudo sobre o transporte de corações doados. A fim de minimizar o *CIT* e o tempo de espera do receptor pelo órgão, a equipe que está transportando o órgão contata a equipe de operação dentro de 10 a 15 minutos de sua chegada ao aeroporto de destino para que o paciente possa ser preparado para a cirurgia e esteja pronto no momento da chegada do órgão ao hospital transplantador.

Para WAKI e TERASAKI (2007), a logística de transporte de órgãos está bem estabelecida na Europa, nos Estados Unidos e em alguns outros países. É importante um bom planejamento das rotas de transporte para que o órgão seja enviado ao seu receptor logo após a sua retirada (FUZZATI, 2005). O transporte de órgãos pode ser considerado um procedimento seguro desde que sua captação seja feita por equipes experientes (TOTSUKA *et al.*, 2002).

VÁSQUEZ-SALCEDA *et al.* (2003) constataram em sua pesquisa que, nos Estados Unidos, no período de um ano, entre julho de 2004 e junho de 2005, quase um terço dos órgãos doados de pessoas falecidas foram transportados em níveis regionais ou em nível nacional. Os autores ressaltam, ainda, que essa prática inevitavelmente eleva a duração do *CIT* desses órgãos.

Já UEHLINGER *et al.* (2010) estudaram o impacto da criação da nova lei de transplante na Suíça em 2007 no tempo de isquemia fria e no transporte de órgãos. Com a criação dessa lei, a alocação de órgãos no país deixou de ser realizada por localidade e passou a ser realizada por lista única nacional, não levando em consideração a localização do doador e do paciente. Os autores concluíram que, após sancionar a lei, a frequência de transporte de órgãos aumentou consideravelmente no país: de 301 órgãos alocados antes da lei, 62,1% foram transportados do local de captação para outro centro

médico transplantador, enquanto, após a lei, de 349 órgãos alocados 84,5% foram transportados.

A pesquisa de ELGUETA *et al.* (2010), realizada no Chile, conclui que o tempo entre a alocação de rins e o seu transplante foi consideravelmente menor para aqueles alocados localmente do que para aqueles transportados a outros centros. Constatou-se que o tempo máximo em cada caso foi de 15,5 e 20,1 horas, respectivamente, e que apenas 13,0% das alocações locais tiveram o transplante realizado em mais de 10 horas, contra 38,1% para os rins transportados.

Seguindo com o transplante de rins, com relação às doações entre vivos, diversos autores apontam que o transporte do órgão é uma alternativa viável ao deslocamento do doador até o local onde se encontra o receptor (SIMPKINS *et al.*, 2006, 2007; WAKI e TERASAKI, 2007; SEGEV *et al.*, 2011; MELCHER *et al.*, 2012). Para SEGEV *et al.* (2011) e MELCHER *et al.* (2012), as organizações de procura por órgãos devem utilizar as mesmas políticas e procedimentos estabelecidos para o transporte de órgãos de doadores falecidos para transportar órgãos de doadores vivos. Em sua pesquisa, MELCHER *et al.* (2012) mostram que, dos 272 receptores em 54 correntes de compartilhamento de órgãos estudadas, 63% dos órgãos captados foram transportados para outros centros transplantadores e todos os pacientes participantes obtiveram bons resultados pós-operatórios com imediato funcionamento do enxerto. Ao todo, 56 rins foram transportados entre 30 centros transplantadores entre abril de 2007 e abril de 2010 com um *CIT* médio de 7,2 horas.

Em casos como esse envolvendo diversos centros e ainda o transporte de órgãos entre pares, a coordenação é primordial e o transporte do órgão ao invés do deslocamento do doador pode simplificar a logística de distribuição e minimizar as barreiras para a participação de pacientes de difícil compatibilidade, além de favorecer o aumento da rede de doações e permitir que os doadores se recuperem da cirurgia ao lado de seus familiares e amigos (WAKI e TERASAKI, 2007; SEGEV *et al.*, 2011; MELCHER *et al.*, 2012).

Apesar de o transporte do órgão ser uma alternativa viável, SEGEV *et al.* (2011) ressaltam a importância da conversa entre as equipes de transplante e os receptores com respeito aos riscos associados a esse procedimento que incluem atrasos e possíveis perdas dos órgãos e tempo de isquemia fria prolongado.

Além do transporte dos órgãos em si, cabe ressaltar a importância de um transporte rápido, eficiente e coordenado para o deslocamento das equipes

transplantadoras que fazem a retirada dos órgãos doados e que, por vezes, têm que acompanhar o órgão até o local onde serão transplantados (FUZZATI, 2005; AYDIN *et al.*, 2008).

3.2.1. Escolha modal

A escolha modal no transporte de órgãos está diretamente ligada ao tempo de isquemia fria ou *CIT*. A distância a ser percorrida exerce certa influência, porém não deve ser medida em quilômetros, mas sim em tempo de deslocamento uma vez que diferentes modos de transporte podem percorrer o mesmo trajeto em tempos diferentes. Por isso, na Europa, UE (2010) estabeleceu que os Estados da União Europeia devessem garantir que aqueles envolvidos no transporte de órgãos para transplante disponham de procedimentos adequados que garantam sua chegada ao receptor em um tempo apropriado.

Na Suécia, WOLFBRANDT *et al.* (2010) compararam o *CIT* de rins captados na região norte, a mais distante do resto do país, com outros captados em distintas regiões. Os autores não observaram diferença significativa no *CIT* no transporte de órgãos para áreas ao sul do país, que se encontram a 2 ou 3 horas de distância de carro, e para a região norte, com distâncias até maiores que 1200 km, o que pode ser atribuído à escolha modal. Concluiu-se que os esforços logísticos realizados pela Suécia no transporte de órgãos foram relevantes para não prejudicar os receptores de regiões distantes.

Já SEREGUETTI e DA SILVA (2011) descreveram em seu estudo, realizado em um hospital no estado de São Paulo, que os modos utilizados para o transporte de órgãos por aquele centro de transplante seriam o terrestre e o aéreo, sendo o modo rodoviário para rins e o aéreo para corações e pulmões, em razão do curto *CIT* desses órgãos. O hospital estudado utiliza veículos próprios, ambulâncias ou táxis para o transporte terrestre e, em casos críticos, aciona a polícia para auxiliar com seus veículos. Os autores destacam que a disponibilidade do veículo, o trânsito e a distância entre doador e receptor são os principais fatores a se considerar na escolha modal para esse tipo de transporte.

Um trajeto de 200 km entre dois hospitais, por exemplo, pode ser feito em aproximadamente 2 horas por um veículo automotor terrestre, porém, caso as condições de tráfego e trânsito não sejam favoráveis, o mesmo percurso pode levar o dobro, o

triplo ou ainda mais tempo. MONTEIRO (2011) aplicou as técnicas do *lean thinking*, ou pensamento enxuto, às atividades logísticas do transplante de órgãos e identificou o transporte, no seu caso o terrestre, como o principal gerador de desperdícios de tempo no processo de transplante.

THOMAS *et al.* (1978) descreveram seis casos de transporte de corações humanos por longas distâncias. Em um dos casos, os autores relataram que o transporte terrestre do hospital doador para o aeroporto de origem e do aeroporto de destino para o hospital receptor consumiu mais de 60% do tempo total de transporte do órgão. Por isso, eles destacaram a importância do uso de helicópteros para a realização desses trajetos sempre que possível.

Por outro lado, o transporte pelo modo aéreo, seja entre hospital e aeroporto ou entre aeroportos de cidades distantes, pode enfrentar restrições, como por exemplo, a falta de disponibilidade de aeronaves, situações meteorológicas adversas na origem ou no destino, ou até mesmo os altos custos de execução do serviço (THOMAS *et al.*, 1978; UEHLINGER *et al.*, 2010; MARTÍN *et al.*, 2008). Em um dos casos descritos no estudo de THOMAS *et al.* (1978), apesar do baixo *CIT* disponível para percorrer uma distância de 203 km, o coração teve que ser transportado por via terrestre, em razão de problemas meteorológicos.

VENANZI *et al.* (2012) pesquisaram a cadeia de suprimentos de órgãos no Conjunto Hospitalar de Sorocaba, no interior de São Paulo, e identificaram que o modo aéreo é utilizado por aquele centro somente para envio de corações ou pulmões em trajetos superiores a 100 km e fígados ou pâncreas por distâncias superiores a 300 km do receptor.

O “modelo espanhol” de transplantes considera curta distância um trajeto de até 300 km entre doador e receptor, enquanto uma longa distância seria àquela em que é necessário contratar uma aeronave para seu traslado devido ao tempo de isquemia fria do órgão (MARTÍN *et al.*, 2008).

De maneira geral, o transporte por carro ou ambulância é mais utilizado para as curtas distâncias e o modo aéreo para longas distâncias ou para o traslado de órgãos com baixo *CIT* disponível (THOMAS *et al.*, 1978; AYDIN *et al.*, 2008; MONTGOMERY *et al.*, 2008; BUTT *et al.*, 2009; MARTÍN *et al.*, 2008). Todavia, MORENO *et al.* (2001) e VÁSQUEZ-SALCEDA *et al.* (2003) apontam a possibilidade de se transportar órgãos pelo modo ferroviário, o que depende de uma boa malha de trens e itinerários para que seja viável. FUZZATI (2005), em seu artigo, considera

também plausível a inclusão de linhas regulares de ônibus para a realização de tal serviço.

Em regiões ou países pequenos, como é o caso da Suíça, o transporte de órgãos por helicópteros é bastante recorrente, não para se chegar até um aeroporto e embarcar em um avião, mas sim para realizar todo o trajeto entre o doador e o receptor. Mas essa prática pode elevar consideravelmente os custos do transplante (UEHLINGER *et al.*, 2010). Por outro lado, em países de grandes dimensões territoriais, como é o caso dos Estados Unidos e Brasil, a rapidez e autonomia de combustível do avião e sua menor propensão a restrições meteorológicas faz com que este seja um dos meios mais utilizados para se transportar órgãos por grandes distâncias (SEGEV *et al.*, 2011).

No artigo escrito por SEGEV *et al.* (2011), os autores destacaram a relevância do transporte aéreo para o programa de doações de rim entre vivos norte-americano. De um total de 56 casos estudados entre os anos de 2007 e 2010, 12,7% dos órgãos foram transportados por veículo automotor terrestre, enquanto 87,3% foram trasladados por via aérea, sendo 36,4% em voos fretados e 50,9% em voos de empresas aéreas regulares.

Nessa mesma linha, no Brasil, de 6.474 transportes realizados entre 1º de outubro de 2012 e 30 de setembro de 2013 que foram coordenados pela CNT, aproximadamente 0,7% foi por via terrestre, enquanto 99,3% dos casos utilizaram aeronaves (HEINZEN, 2013). Com isso, percebe-se que o transporte de órgãos pelo modo aéreo é bastante utilizado nos deslocamentos interestaduais, os quais envolvem longas distâncias.

3.2.2. Transporte de órgãos por longas distâncias

O compartilhamento de órgãos entre diferentes centros é uma necessidade com o objetivo de se obter o melhor proveito de um programa nacional de transplantes. Nesse sentido, meios de transporte ágeis são requisitados para se percorrer grandes percursos no menor tempo possível e garantir o acesso ao transplante a um máximo número de pessoas, mesmo em países de grandes dimensões e distintas classes sociais, como o Brasil.

Tomando-se como base o conceito de curta distância estabelecido por MARTÍN *et al.* (2010), pode-se concluir que apenas seis pares de capitais brasileiras poderiam ser classificados como de curta distância, de um total de 351 possibilidades, uma vez que

somente entre essa meia dúzia de pares origem/destino a distância por rodovias é menor que 300 km (DNIT, 2014). Os pares de capitais brasileiras considerados de curta distância são: Recife / João Pessoa (120 km); Recife / Maceió (285 km); Recife / Natal (297 km); João Pessoa / Natal (185 km); Aracajú / Maceió (294 km); Brasília / Goiânia (209 km). Por esse panorama, percebe-se a importância que o transporte aéreo representa para o transplante de órgãos dentro de um vasto território e, principalmente, em países com problemas de infraestrutura de rodovias e ferrovias (AYDIN *et al.*, 2008).

KLEIN *et al.* (2010) estudaram a doação e o transplante de órgãos nos Estados Unidos entre 2004 e 2008 e concluíram que, de 3.509 órgãos compartilhados entre diferentes centros de transplante, 1.250 foram transportados regional ou nacionalmente, o que demonstra o grande percentual de órgãos transportados num sistema de compartilhamento de órgãos bem desenvolvido em um país de grandes extensões territoriais.

No estudo de THOMAS *et al.* (1978), em apenas um dos casos foi utilizado o transporte rodoviário em razão de problemas meteorológicos, no qual o órgão foi trasladado por 203 km. A Tabela 3.1 mostra o resumo dos transportes de coração relatados por THOMAS *et al.* (1978).

Tabela 3.1: Resumo dos transportes de coração relatados por THOMAS *et al.* (1978).

Caso	Distância percorrida	CIT	Tempo de transporte	Modo	Veículos
1	1.094 km	3h 15min	2h 25min	Aéreo	Avião particular
2	1.400 km	3h 15min	2h 10min	Aéreo	Avião particular
3	386 km	2h 40min	1h 20min	Aéreo	Helicóptero / Avião particular
4	113 km	3h 30min	1h 46min	Aéreo	Avião particular
5	203 km	3h	>2h	Rodoviário	Não informado
6	732 km	3h 50min	Não informado	Aéreo	Avião particular

Fonte: THOMAS *et al.* (1978)

THOMAS *et al.* (1978) ressaltaram que os transportes de longa distância descritos foram dependentes de uma aeronave a jato fretada, com velocidade de 805 a 855 km/h, com desempenho similar a de grandes jatos comerciais e um sistema de comunicação com o solo bastante avançado. Segundo os autores, a distância máxima

transportada de 1.400 km poderia até ser elevada para 1.609 km que ainda manter-se-ia o *CIT* total do órgão em 4 horas de duração.

TOTSUKA *et al.* (2002) estudaram transplantes de fígado também nos Estados Unidos e constataram que, de 186 transplantes pesquisados, 37,1% foram compartilhados entre diferentes centros e transportados por diferentes distâncias, chegando até a 3.476 km em linha reta, com tempos de isquemia fria até maiores que 18 horas.

Já SALAHUDEEN e MAY (2008) pesquisaram os transplantes de rim, tendo constatado em seu trabalho que o número desses órgãos transportados em território norte-americano por mais de 800 km foi significativamente superior no período de 1996 a 2000 do que de 1990 a 1995, assim como o *CIT* correspondente.

Na Espanha, aviões são utilizados para transportar órgãos por distâncias superiores a 300 km. Tais aviões costumam ficar baseados em Madrid, apesar de existirem algumas companhias que realizam esses transportes baseadas em outras províncias (RODRIGUEZ, 2009). Em 1990, realizou-se a primeira operação de transporte de órgão utilizando uma aeronave privada em território espanhol. Até aquele momento, os transportes naquele país eram realizados por forças militares. A partir de então até 2008, a Organização Nacional de Transplantes espanhola coordenou mais de 3.500 operações de transporte de órgãos pelo modo aéreo (MARTÍN *et al.*, 2008), sendo que, no ano de 2008, 744 voos estiveram envolvidos em transporte de órgãos, 618 deles fretados e 126 de companhia aérea regular (RODRIGUEZ, 2009).

Apesar dos dados, STAHL *et al.* (2005) ressaltaram em sua pesquisa que o tamanho das regiões afeta os tempos de transporte dos órgãos, e que grandes regiões, apesar de aumentarem a compatibilidade entre doadores e receptores, podem impactar negativamente na viabilidade do transplante.

A logística de compatibilização de doadores e receptores em grandes áreas geográficas pode ser considerada um dos maiores desafios também para a implantação de um programa de doação de órgãos entre vivos (SIMPKINS *et al.*, 2007). Segundo BUTT *et al.* (2009), alguns centros transplantadores são relutantes em transportar rins de doadores vivos por longas distâncias, principalmente em razão do aumento do *CIT* nesses transportes. Normalmente, estes centros optam pela viagem do doador ao encontro do receptor ao invés do transporte do órgão acondicionado em solução de preservação.

O primeiro transporte de longa distância de um órgão de doador vivo foi descrito por MONTGOMERRY *et al.* (2008), no qual um rim foi transportado de Baltimore, no estado de Maryland, do lado leste dos Estados Unidos, para San Francisco, Califórnia, no extremo oeste norte-americano, por uma distância de aproximadamente 4.000 km. No caso descrito, o *CIT* do órgão foi de 8 horas, incluindo uma hora de transporte do hospital para o aeroporto de origem e do aeroporto de destino até o hospital transplantador e 5 horas e 30 min de trajeto entre aeroportos em voo fretado.

MONTGOMERRY *et al.* (2008) demonstraram ser viável o transporte de rins de doadores vivos por longas distâncias, o que pode beneficiar receptores de difícil compatibilidade em programas de doações entre vivos, visto que muitas vezes não conseguem fazer parte de pequenas redes de doações locais ou regionais em razão de seus critérios clínicos.

O estudo de SIMPKINS *et al.* (2007) sugere que o transporte de órgãos, mantendo o *CIT* dentro de 8 horas, é plausível para transplantes de rim entre vivos. SIMPKINS *et al.* (2007) pesquisaram 38.467 casos de transplantes entre vivos e concluíram que em um *CIT* de 8 horas a operação de transplante apresenta bons resultados. Mesmo após TANAKA *et al.* (1971) terem concluído em seu trabalho que é possível realizar o transporte transcontinental de rins mantendo o *CIT* em até 14 horas com bons resultados pós-operatórios, SIMPKINS *et al.* (2007) ressaltam que a manutenção do rim de doador vivo por um tempo maior que 8 horas de *CIT* dependeria de outros estudos e destacam que este tempo não é o suficiente para se atingir qualquer região dentro de um vasto território como o dos Estados Unidos.

Apesar disso, BUTT *et al.* (2009) reportam em seu trabalho uma corrente de transplantes de rim envolvendo quatro transportes de longa distância, os quais apresentaram valores de *CIT* de 8, 11, 12 e até 14 horas, com bons resultados pós-transplante. Os autores relatam que rins de doadores falecidos são transportados a todo o momento nos Estados Unidos e que o mesmo deveria acontecer com rins de doadores vivos em prol de uma maior compatibilização entre doadores e receptores.

3.2.3. Cooperação no transporte de órgãos

Além do elevado *CIT* nos transportes de longas distâncias, uma das grandes limitações é o uso de aeronaves privadas, devido ao seu elevado custo. MONTGOMERRY *et al.* (2008) comparam o custo de fretamento de uma aeronave nos

Estados Unidos (US\$ 27.000) ao custo de um ano de diálise para tratamento de um paciente que aguarda em lista de espera por um rim (US\$ 58.758) (SEGEV *et al.*, 2005). Por isso, quando possível, a redução de custos com a utilização de aeronaves militares ou até mesmo de voos regulares de empresas aéreas de passageiro ou de carga pode viabilizar a expansão de um programa nacional de transplantes (VAN DER WERF *et al.*, 1998; MONTGOMERY *et al.*, 2008). Com esse intuito, os governos de alguns países de referência em transplante de órgãos celebram acordos de cooperação com companhias aéreas, empresas de logística e também aeroportos, para que cada vez mais órgãos sejam alocados a receptores a um baixo custo, além de contarem com o apoio militar em diversos momentos (WILLIAMS *et al.*, 2004; GENÇ, 2008; MARTÍN *et al.*, 2008; MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2013).

MARTÍN *et al.* (2010) destacam que, em 2007, mais de 80 transportes de órgãos dentro da Espanha contaram com a colaboração do Estado Maior. No mesmo ano, em 1.390 ocasiões órgãos foram transportados passando por algum aeroporto espanhol e em 56 casos foi solicitada a abertura de aeroportos além do seu horário normal de funcionamento. Já em 2008, mais de 40 aeroportos, dentre eles civis e militares, estiveram envolvidos em 1.961 casos de transporte aéreo de órgãos para transplante (RODRIGUEZ, 2009).

Por vezes, helicópteros das forças armadas também são envolvidos em operações de transporte de órgãos, ocasiões que envolvem ainda o apoio de heliportos civis ou bases militares. Quando necessária, há também a colaboração de equipes de segurança do Estado que acompanham o traslado do órgão até o hospital para abrir passagem em meio ao trânsito urbano (MARTÍN *et al.*, 2008).

Além disso, a *ONT* espanhola conta com um acordo de cooperação firmado com a maior companhia aérea do país, desde 2001, que garante o transporte de órgãos em seus voos regulares de passageiro e carga (MARTÍN *et al.*, 2008). As embalagens contendo órgão para transplante, quando não acompanhadas de profissionais de saúde, ficam sob custódia da tripulação até ser entregues a um responsável da *ONT* no aeroporto de destino. Normalmente são transportados fígados e rins e por vezes o aeroporto facilita a entrada de ambulâncias no pátio de aeronaves a fim de se evitar desperdício de tempo com o desembarque do órgão (RODRIGUEZ, 2009).

Em 2007, pelo acordo de cooperação transportaram-se 137 órgãos para transplante (MARTÍN *et al.*, 2008). Já em 2008, esse número passou para 121, sendo 82 rins e 39 fígados. Ao todo, 744 voos estiveram envolvidos em transporte de órgãos, 618

privados e 126 ligados ao acordo de cooperação com a companhia aérea espanhola (RODRIGUEZ, 2009) e, segundo MARTÍN *et al.* (2010), outras companhias aéreas regulares também iniciaram as tratativas para fazerem parte do acordo de cooperação.

Nos Estados Unidos, as atividades de transporte de órgãos começaram com a criação do *Kidney Center*, que mais tarde se tornaria o *Organ Center* da UNOS (*United Network for Organ Sharing*), que tinha o objetivo de eficiência no transporte de rins para melhorar a utilização desses órgãos e reduzir os custos de seu transporte.

Posteriormente foram celebrados acordos entre a UNOS e as OPOs norte-americanas com empresas de encomendas expressas para transportarem os órgãos em voos regulares de carga a custos reduzidos, e também com uma das maiores companhias aéreas regulares do país (WILLIAMS *et al.*, 2004). Além disso, os programas de doação entre vivos passaram a se valer dos protocolos estabelecidos pelas OPOs para transporte de órgãos de falecidos para também transportarem órgãos de doadores vivos em voos de empresas regulares (BUTT *et al.*, 2009; MELCHER *et al.*, 2012).

No Brasil, em outubro de 2009, criou-se o Selo de “Organização Parceira do Transplante” a fim de incentivar e reconhecer iniciativas e ações que promovem e auxiliam as doações, as captações e transplantes de órgãos, tecidos e células no território nacional (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2009c). Dias depois, o selo foi concedido a mais de 15 empresas aéreas brasileiras, como reconhecimento pelos serviços prestados de transporte aéreo gratuito de órgãos, tecidos e partes do corpo humano para fins de transplantes, como exemplo mostrado por MINISTÉRIO DA SAÚDE (2009d), o que já vinha sendo feito por algumas das empresas desde o ano 2000 (HEINZEN, 2013). No mês seguinte, tal ato viria a se tornar um acordo de cooperação entre o Ministério da Saúde e as empresas aéreas, representadas pelo Sindicato Nacional das Empresas Aeroviárias – SNEA (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2009a).

Em 2012, o Ministério da Saúde iniciou as tratativas em busca de um novo acordo envolvendo, além das cinco maiores empresas aéreas brasileiras em número de voos domésticos (ANAC, 2013b), a Secretaria de Aviação Civil da Presidência da República, a Agência Nacional de Aviação Civil, a Força Aérea Brasileira, a INFRAERO e ainda as empresas concessionárias administradoras dos aeroportos de Brasília, Guarulhos e Viracopos (Campinas). Mesmo antes da assinatura do acordo, efetivada no final do ano seguinte (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2013), os representantes de cada entidade se reuniram diversas vezes em busca de uma melhor coordenação para

o transporte de órgãos, que continuou acontecendo mesmo durante o período de elaboração do documento (HEINZEN, 2013). A Figura 3.1 representa a evolução no número de voos envolvidos no transporte de órgãos, tecidos, equipes e equipamentos ligados ao transplante, coordenados pela CNT, desde 2000 até setembro de 2013.

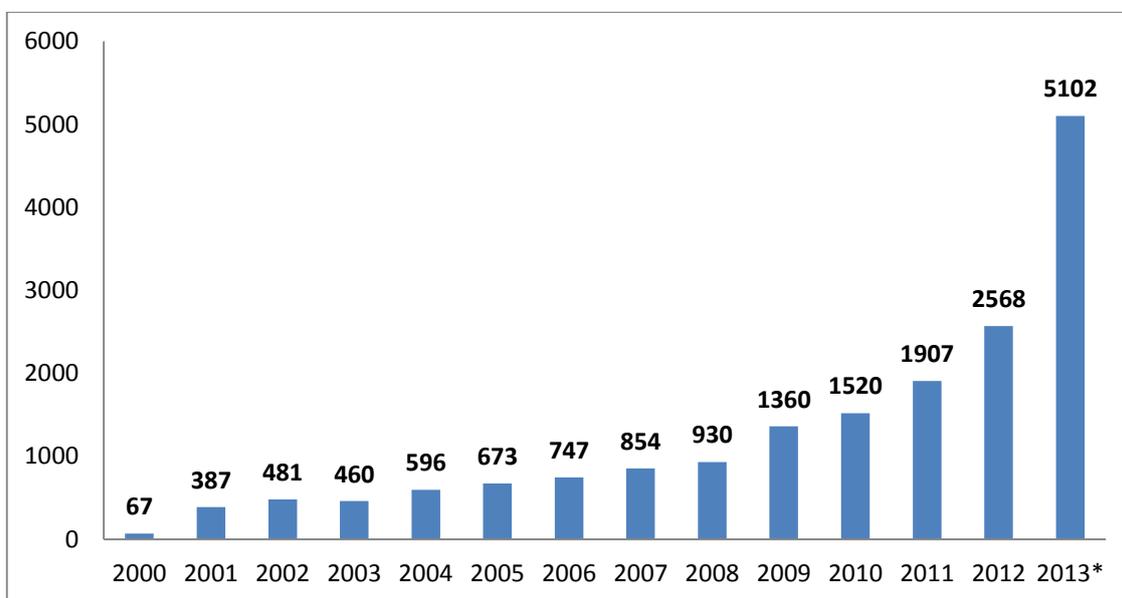


Figura 3.1: Número de voos transportando órgãos – 2000 a 2013* (até setembro).

Fonte: HEINZEN (2013).

Segundo informações coletadas com o Ministério da Saúde, desde 2012, os dados relativos a voos, aeronaves, empresas e tipo e número de órgãos transportados começaram a ser medidos detalhadamente. De janeiro a dezembro de 2013 foram realizados 4.619 transportes com fins de transplante coordenados pela CNT. Desses transportes, aproximadamente 1% foi realizado pelo modo terrestre e 99% por modo aéreo, sendo que 97% dos voos foram de empresas aéreas participantes do acordo de cooperação, o que representa um transporte sem custo para o Sistema Nacional de Transplantes. Em sete casos se buscou a ajuda de aeronaves da Força Aérea Brasileira e em apenas 83 casos o transporte foi feito em aeronaves fretadas.

Além disso, é relevante apontar que as aeronaves em operação de transporte de órgãos para transplante no Brasil têm a terceira prioridade para decolagem, após aeronaves em missão de defesa aeroespacial e em missão de guerra ou de segurança interna, e a segunda prioridade para pouso, atrás dos planadores (DECEA, 2013).

Dentro do total de casos relatados, foram transportados ao todo 1.089 órgãos sólidos com fins de transplante, dos quais 687 rins, 317 fígados, 53 corações, 21

pâncreas e 11 pulmões. A Figura 3.2 demonstra um comparativo entre os anos de 2012 e 2013 com relação aos transportes coordenados pela CNT.

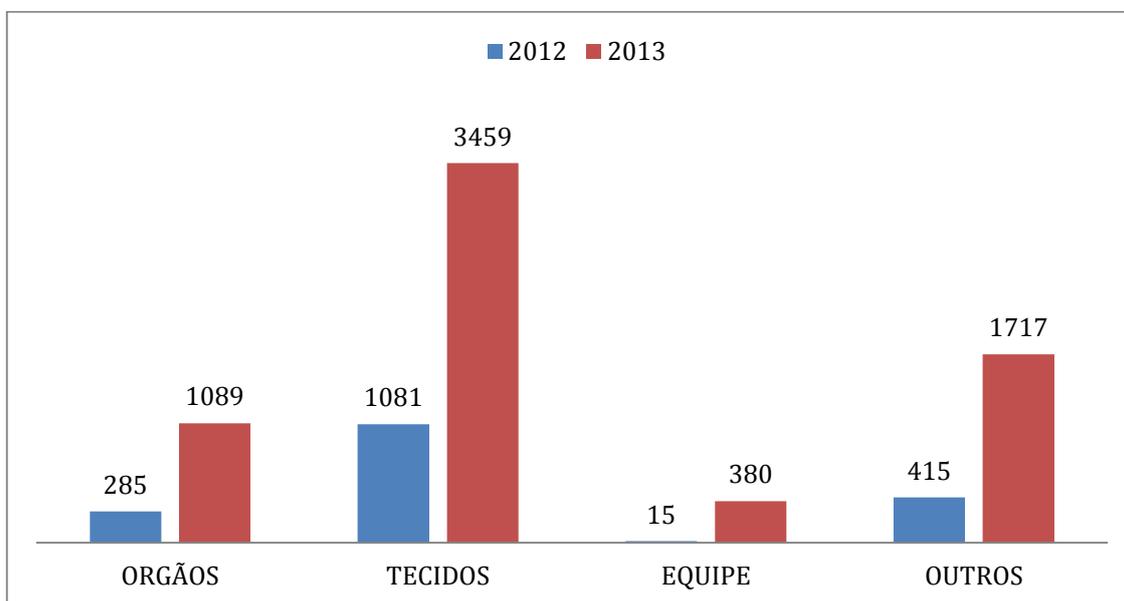


Figura 3.2: Itens transportados com finalidade de transplante – 2012/2013.

Fonte: Informações coletadas com a CNT.

3.3. Estudos de otimização aplicados ao transporte de órgãos

Durante o presente trabalho foram pesquisadas publicações sobre otimização de processos ligados ao transporte de órgãos para transplante. Poucos artigos relevantes foram encontrados, os quais serão descritos brevemente nesta seção.

KONG *et al.* (2002) estudaram a distribuição do transplante de fígados pelas diferentes regiões dos Estados Unidos, considerando o efeito do desenho de cada região no número total de transplantes de fígado conduzidos em seu território. Os autores buscaram melhorar o processo de alocação dos órgãos em um nível regional, considerando que, para fins de transplantes, o território norte-americano é dividido em 11 distintas regiões, e cada uma delas possui um número de Organizações de Procura por Órgãos – OPO específico.

Sendo assim, KONG *et al.* (2002) consideraram duas estratégias de trabalho. A primeira manteve o número de 11 regiões do território considerando como sendo um número ideal e buscou a distribuição de *OPOs* por cada uma das regiões e a segunda adotou um número indefinido de regiões, a fim de se obter a solução ótima sobre a quantidade de regiões e os respectivos números de *OPOs* adequado ao país. KONG *et*

al. (2002) aplicaram em seu estudo um problema de modelagem matemática com programação inteira binária.

BRUNI *et al.* (2006), por sua vez, fizeram um estudo de caso na Itália, no qual propuseram um modelo de localização para organizar do sistema de transplantes do país baseado em programação matemática com foco no tempo para a realização do processo completo de transplante, desde a doação até a cirurgia, e na distribuição espacial dos centros transplantadores. O objetivo do estudo de BRUNI *et al.* (2006) foi atingir uma equidade regional na alocação dos órgãos entre as regiões considerando a reorganização do sistema de transplantes italiano.

Os autores propuseram a localização ótima para os centros transplantadores, centros doadores e *OPOs*, trabalhando com os cinco tipos de órgãos sólidos (coração, pulmão, fígado, pâncreas e rim), com o objetivo de equalizar o tempo de espera por um órgão ao redor do país, reduzir o tempo total do sistema e assim melhorar a sua eficiência.

Já o modelo proposto por STAHL *et al.* (2005) foi uma continuação do trabalho de KONG *et al.* (2002), no qual se buscou determinar a configuração ideal para as regiões que dividem o transplante de órgãos nos Estados Unidos a fim de maximizar a alocação regional de órgãos e atingir uma melhor paridade entre as diferentes regiões por meio da elevação das taxas de transplante em cada *OPO* que as compõem. Em seu estudo, STAHL *et al.* (2005) utilizaram a programação linear inteira e concluíram que as reorganizações regionais propostas seriam capazes de aumentar em 17 a 18 casos o número de transplantes realizados por ano.

BELIËN *et al.* (2013) trabalharam na otimização para a localização de instalações de transplante na Bélgica, com o objetivo de minimizar a soma de tempo entre o momento em que um órgão está disponível até a finalização da cirurgia de transplante em seu receptor. O modelo desenvolvido decide qual centro transplantador deve ser selecionado para cada órgão disponível para que se obtenha o menor tempo possível na sua distribuição. Aplica-se no modelo restrições orçamentárias disponíveis e de tempo máximo de isquemia fria dos órgãos, porém, não são consideradas as prioridades das listas de espera de cada órgão e nem a decisão final do receptor sobre aceitar ou não o transplante.

O estudo de ÇAY (2012) foi focado na logística de transplante de órgãos na Turquia. O autor desenvolveu seu projeto utilizando-se de modelagem matemática e também de simulação. Dois modelos foram desenvolvidos, o primeiro baseado em

distâncias rodoviárias e o segundo com a integração do transporte por helicópteros ao primeiro a fim de solucionar os problemas com restrição por tempo de isquemia fria dos órgãos no vasto território turco. Além disso, ÇAY (2012) também considerou restrições de equidade em seu estudo para balancear o fluxo de órgãos entre as diferentes regiões do país.

Diferente dos autores anteriores, MORENO *et al.* (2001) propuseram a aplicação de um sistema multiagente (SMA) para o planejamento de rotas para o transporte de órgãos para transplante em território espanhol. Considerou-se no estudo que o órgão já se encontra alocado ao seu receptor, sendo assim, os dados de origem e destino do órgão são previamente conhecidos. Além disso, o escopo do trabalho foi limitado a duas capitais de províncias espanholas, o que abrange em torno de 50 cidades.

O objetivo do SMA de MORENO *et al.* (2001) é localizar a rota mais rápida e de menor custo para transportar um órgão entre duas cidades. Para isso, os autores adotaram três agentes distintos: um agente consultor de base de dados para cada modo de transporte considerado, um agente especialista em transporte por cada modo e um planejador de rotas. O planejador, de posse dos dados de origem e destino do órgão, horário atual e horário limite para a chegada do órgão ao seu destino, planejará a melhor rota transmitida pelos especialistas em cada modo para considerar aquelas que são viáveis e que chegam ao destino no menor tempo possível e com o menor custo de transporte. Considerou-se nesse estudo apenas o transporte por avião ou trem em linhas comerciais regulares, mas poderiam ter sido aplicados outros modos de transporte.

3.4. Considerações finais do capítulo

Neste capítulo, apresentou-se uma revisão bibliográfica com foco no tempo para o transplante de órgãos, o que demonstra a importância de um transporte ágil e eficiente para que se obtenham bons resultados pós-transplante.

Foram apresentadas as consequências adversas de um *CIT* elevado para o transplante de rins de doadores falecidos e de doadores vivos, com destaque para o *DGF* e para a vida do enxerto. Além disso, apresentaram-se os efeitos do *CIT* em outros tipos de órgãos transplantados.

Também foi abordada a questão do transporte do órgão. A escolha modal foi destacada como um fator relevante para o sucesso do transplante, uma vez que impacta no *CIT* e, conseqüentemente, no sucesso dos resultados pós-operatórios. Destacou-se

que para as longas distâncias o modo aéreo é o mais utilizado porque, apesar do seu alto custo, é o que melhor se aplica para o transporte de produtos de alto valor agregado, sendo um órgão capaz de salvar uma vida. Para reduzir os custos elevados desse transporte, muitos países recorrem a acordos de cooperação com companhias aéreas, o que traz um grande benefício para todo o sistema de transplante.

Por fim, foram destacados alguns estudos ligados à otimização no transplante de órgãos para transplante. Alguns deles estão ligados à distribuição de regiões de transplante de órgãos e outros abordam o transporte do órgão com restrição ligada ao tempo de isquemia fria.

4. PROPOSTA DE MODELOS PARA O PROBLEMA DO TRANSPORTE DE ÓRGÃOS

Neste capítulo, apresentam-se uma breve fundamentação teórica relacionada ao problema do caminho mínimo e a formulação matemática desse problema, além de uma explicação resumida dos algoritmos de Dijkstra (DIJKSTRA, 1959) e Floyd-Warshall (FLOYD, 1962) e exemplos de aplicações desses algoritmos em temas ligados a realidade dos transportes.

Na seção que se segue, descrevem-se os modelos matemáticos desenvolvidos neste estudo, que abordam, por um lado, a análise da compatibilidade no transporte do órgão entre pares de aeroportos e, por outro, a possibilidade de se transportar determinados órgãos entre pares definidos de aeroportos de origem e destino, levando-se em consideração os voos existentes.

Por fim, realizam-se comentários a respeito das vantagens e desvantagens de cada um dos modelos desenvolvidos e apresenta-se um fluxograma para sua aplicação sequencial.

4.1. Fundamentação teórica

O problema do caminho mínimo, também conhecido como problema do caminho mais curto, corresponde a um caso de programação binária em grafos no qual o objetivo é encontrar o menor caminho entre dois nós quaisquer da rede. As arestas ou arcos do grafo podem ser representados por parâmetros como distância, custo ou tempo (HILLIER e LIEBERMAN, 2001).

Um grafo pode ser entendido como uma rede composta por um conjunto de nós interconectados por arcos. Os nós de um grafo são normalmente ilustrados por círculos ou pontos e representam facilidades, como portos, fábricas, ou aeroportos, e os arcos são ilustrados por segmentos de reta ligando os nós e representam caminhos, rotas etc. (GOLDBARG e LUNA, 2005).

Ao menos três tipos de subproblemas de caminho mínimo podem ser apontados: o caminho entre dois nós específicos, o caminho entre um nó de origem específico e todos os outros nós da rede e o caminho que une cada um dos pares origem/destino da rede. Os dois primeiros subproblemas podem ser tratados da mesma maneira, uma vez que para se encontrar o menor caminho entre dois nós é necessário definir o caminho

mais curto da origem até todos os outros nós da rede (BOAVENTURA e JURKIEWICZ, 2009).

4.1.1. *Formulação matemática do problema do caminho mínimo*

Seja $G = (N, A)$ um grafo tal que N representa um conjunto de nós e A um conjunto de arcos (i, j) , sendo $i, j \in N: i \neq j$. Considere ainda um comprimento c_{ij} associado ao arco $(i, j) \in A$. Assim, o problema do caminho mínimo consiste em encontrar o caminho mínimo entre um nó de origem $s \in N$ e um nó de destino $t \in N$, tal que $s \neq t$. Um caminho consiste em um conjunto de arcos que, interconectados, ligam o nó s ao nó t . O custo de um caminho consiste na soma dos comprimentos associados aos arcos que o compõem.

O problema do caminho mínimo pode ser modelado como um problema de programação inteira binária. A Figura 4.1 representa um exemplo simples de grafo direcionado. No exemplo, sejam os valores dos arcos correspondentes ao tempo de deslocamento entre cada um dos nós do grafo, considera-se que o caminho mínimo entre o nó $s = 1$ e o nó $t = 3$, representado pelos arcos sólidos, é aquele que passa pelo nó de número 2.

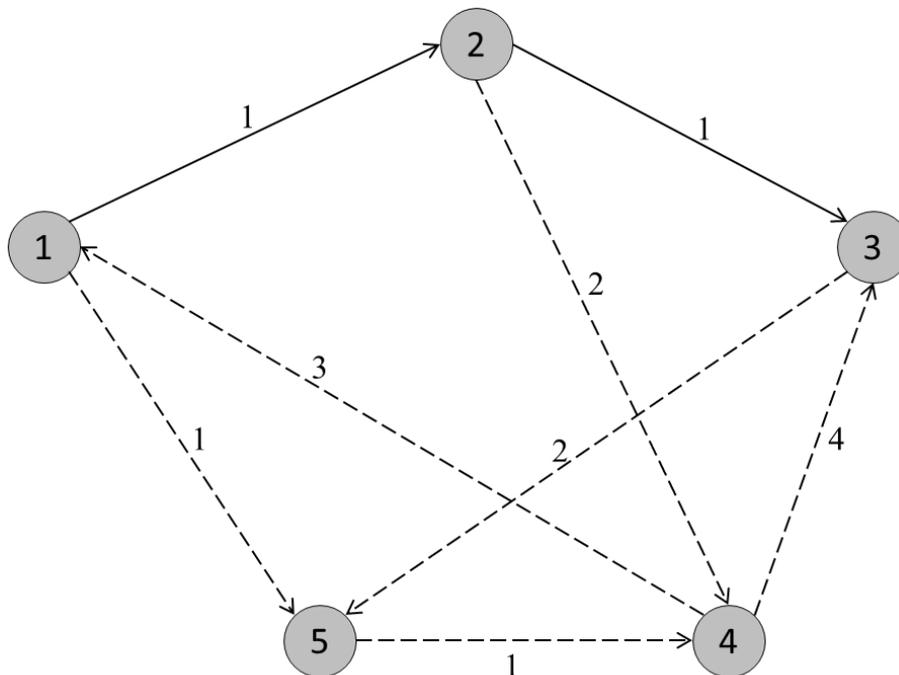


Figura 4.1: Exemplo de caminho mínimo em grafo.

Fonte: Adaptado de BOAVENTURA e JURKIEWIEWICZ (2009).

Assim, seja $x_{ij} \in \{0,1\}$ uma variável binária de decisão associada a cada arco $(i,j) \in A$. Então, se $x_{ij} = 1$, o arco (i,j) deve ser utilizado, ou seja, deve fazer parte do caminho mínimo entre os nós s e t , caso contrário, $x_{ij} = 0$. Dessa forma, na Figura 4.1, somente as variáveis x_{12} e x_{23} receberiam o valor 1. Todos os outros arcos pontilhados receberiam valores de variáveis iguais à zero.

Com isso, a formulação geral do problema do caminho mínimo pode ser expressa da seguinte maneira:

$$\text{Min } z = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j \in N} x_{sj} = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{i \in N} x_{it} = 1 \quad (3)$$

$$\sum_{i \in N} x_{ij} - \sum_{k \in N} x_{jk} = 0 \quad \forall j \in N / \{s, t\} \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in A. \quad (5)$$

A Função Objetivo (1) busca minimizar o custo do caminho escolhido. A formulação matemática acima está baseada no conceito de fluxo, assim, uma unidade de fluxo é inserida no nó s que deve percorrer os nós do grafo até encontrar o nó t . Desta maneira, a Restrição (2) garante que uma unidade de fluxo deve deixar o nó inicial (s) e seguir para algum outro nó. A Restrição (3) garante que uma unidade de fluxo deve chegar ao nó t proveniente de algum outro nó. As Restrições (4) são conhecidas como restrições de conservação de fluxo e garantem que se a unidade de fluxo chegar a um nó, ela deve deixá-lo. Por último, as Restrições (5) estão associadas ao domínio das variáveis.

4.1.2. Algoritmo de Dijkstra

O objetivo do algoritmo tradicional desenvolvido por DIJKSTRA (1959) é estabelecer o menor caminho entre dois nós de um grafo, o que é feito por meio da definição do menor caminho entre o nó de origem e todos os outros nós (BELFIORE e

FÁVERO, 2012). Dado um grafo G , composto por um conjunto de nós V e arcos A , para cada um dos nós, determina-se o comprimento mínimo a partir do ponto inicial do grafo (nó de origem), atribuindo-se uma etiqueta com o valor do comprimento e a indicação do último nó visitado.

Inicialmente, o nó de origem recebe a etiqueta de valor zero, enquanto os outros recebem valor infinito, o que significa que ainda não foram visitados. A cada passo do algoritmo, tenta-se reduzir o valor das etiquetas dos nós para os quais ainda não se concluiu qual é o caminho mínimo.

Os nós de origem e de destino são definidos. Após se definir o nó de origem, define-se o valor das etiquetas dos nós vizinhos, ou seja, aqueles que possuem um arco que os liga ao nó de origem. A partir do nó de menor valor, inicia-se o cálculo do comprimento dos nós subsequentes, que terão o valor igual à soma da etiqueta do nó antecessor com o comprimento do arco que os conecta. E assim se procede com todos os nós da rede. Caso se encontre um caminho menor do que o antes encontrado até um determinado nó ainda aberto na rede, substitui-se a etiqueta desse nó por outra com o novo valor. Quando todos os nós forem visitados e encerrados recebendo seu menor valor, o caminho mínimo entre o nó de origem e o nó de destino é estabelecido e o algoritmo está finalizado.

O Algoritmo de Dijkstra é empregado em diversos ramos dos transportes e pode considerar distintas medidas representando o custo de seus caminhos, como distância, valor, tempo etc.

SCHULZ *et al.* (1999), em seu trabalho, mostram a aplicação de variações heurísticas do Algoritmo de Dijkstra em problemas de tráfego em redes de transporte ferroviário. Os autores desenvolveram um projeto piloto na Alemanha focado em tempo de viagem como único critério de otimização e destacaram a aplicação frequente de Dijkstra em situações reais de sistemas de informação de tráfego.

Já TIRASTITTAM e WAIYAWUTHTHANAPOOM (2014) mostraram um caso de estudo numa rede de transporte público em Bangkok, na Tailândia, com base nas rotas e tarifas de ônibus e de veículos sobre trilhos. JARIYASUNANT *et al.* (2011) desenvolveram um algoritmo baseado no de Dijkstra utilizando dados em tempo real para a seleção não apenas do melhor caminho, mas sim dos k -caminhos mínimos.

GEISBERGER (2011) destaca que fatores como restrições de caminhos, arcos que dependem de horários específicos e a existência de múltiplos nós de oferta e de demanda podem dificultar a aplicação desse algoritmo para a resolução de problemas

reais. Entretanto, pode-se perceber a aplicação do Algoritmo de Dijkstra não apenas em situações usuais, mas também em casos bastante específicos, como na otimização de utilização de veículos no interior de fábricas e armazéns (BEKER *et al.*, 2012) e até mesmo no estabelecimento de rotas de fuga para ocorrências de acidentes nucleares (ROCHA e SCAVARDA, 2011).

4.1.3. Algoritmo Floyd-Warshall

Diferente de DIJKSTRA (1959), o algoritmo desenvolvido por FLOYD (1962) tem o objetivo de encontrar o menor caminho entre cada um dos nós que compõem um determinado grafo.

O algoritmo estabelece a formação de duas matrizes para cada iteração, que podem ser denominadas matriz de valores e matriz de roteamento, na intenção de encontrar os menores caminhos entre os pares de nós do grafo. Todos os caminhos possíveis que ligam i a j serão analisados até ser encontrado aquele de menor custo.

Para isso, a matriz de valores receberá valores nulos na diagonal principal, uma vez que não há custo de deslocamento entre pares iguais, ou seja, para $i = j$. Inicialmente, serão atribuídos valores infinitos, caso não haja arco entre pares (i, j) , e nos casos em que haja arco ligando esses pares, serão atribuídos os valores respectivos de cada arco na matriz.

A matriz de roteamento, por sua vez, tem a função de auxiliar com a informação de qual nó precedente que apresenta o menor caminho até cada nó i . Inicialmente, cada elemento de uma coluna da matriz receberá o número correspondente da própria coluna, caso haja ligação entre os pares (i, j) , ou será nulo, caso não haja essa ligação.

Assim, a cada iteração, um nó, representado pela coluna e linha correspondente, é analisado, buscando-se encontrar o menor valor possível entre os pares que compõem o grafo. Os valores das somas dos menores caminhos entre cada par de nós é registrado na matriz de valores e a referência do nó antecessor é anotada na matriz de roteamento, até que seja analisada a última iteração e as matrizes finais estejam estabelecidas.

Da mesma maneira que o Algoritmo de Dijkstra, o Algoritmo Floyd-Warshall tem grande aplicação no mundo dos transportes. CHEN (1999) destacou que o Algoritmo de Floyd-Warshall pode ser aplicado em casos que se deseja encontrar k -caminhos mínimos entre cada um dos pares de origens e destinos e, ainda, em situações variadas como resgates, evacuações de emergência e transporte de cargas.

Um exemplo de aplicação desse algoritmo pode ser visto no trabalho de WANG *et al.* (2007), que utilizaram a abordagem do caminho mínimo em um Sistema Inteligente de Transporte (*Intelligent Transport System – ITS*) com o objetivo de encontrar os melhores caminhos na rede estudada. Já PRADHAN e MAHINTHAKUMAR (2012) compararam variações dos algoritmos de Dijkstra e Floyd-Warshall na localização dos melhores caminhos entre pares de nós de uma rede de transporte de larga escala.

4.2. Descrição dos Modelos

O primeiro modelo desenvolvido no presente estudo tem o objetivo de analisar a compatibilidade no transporte de cada tipo de órgão entre cada par de origem e destino presente na rede definida de aeroportos. Este modelo tem a função auxiliar de economizar tempo na busca por um caminho ótimo entre pares de origem e destino para os quais não seja possível concretizar o transporte de determinados órgãos em razão do caminho mínimo a ser percorrido ser maior que o tempo disponível para transporte daquele órgão, em razão de seu *CIT* máximo, conforme estabelecido na Tabela 2.2. Desta forma, este modelo permite criar uma matriz de compatibilidade que indica, para cada órgão, a existência ou não de um caminho entre um aeroporto de origem e um de destino tal que o *CIT* do órgão doado seja menor que seu *CIT* máximo.

Por outro lado, o segundo modelo aplica-se ao caso concreto e tem o objetivo de encontrar o melhor caminho para o transporte do órgão do aeroporto mais próximo do doador para aquele mais próximo do receptor, dadas as restrições de horários de voos disponíveis e *CIT* máximo dos órgãos.

Ressalta-se que ambos os modelos trabalham em função do tempo, restritos ao *CIT* máximo dos órgãos, não sendo aplicável nos modelos o custo de transporte, uma vez que os transportes envolvidos são realizados de forma gratuita, com base em um acordo de cooperação (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2013).

4.2.1. Modelagem para definição da matriz de compatibilidade – Modelo 1

A matriz de compatibilidade permite pré-avaliar a possibilidade de transladar um órgão entre dois aeroportos quaisquer. Essa matriz permite economizar tempo na busca por voos entre pares de origem e destino que sejam incompatíveis. Dessa forma, caso

um determinado par seja incompatível, considera-se de imediato que o órgão não pode ser transportado mantendo o *CIT* dentro do limite máximo.

Considere o problema do caminho mínimo como definido na Seção 4.1.1 mas de tal maneira que agora N representa um conjunto de aeroportos e A um conjunto de voos regulares (arcos) entre dois destes aeroportos. Considere ainda que o parâmetro c_{ij} , $(i, j) \in A$, indica agora o tempo de voo existente entre os aeroportos $i \in N$ e $j \in N: i \neq j$. Como entre dois aeroportos podem existir diversos voos ao longo do dia e da semana, considere que c_{ij} é o menor tempo de voo entre os aeroportos $i \in N$ e $j \in N: i \neq j$. Considere que, para que seja possível tomar um voo, seja no aeroporto de origem ou seja em um aeroporto intermediário qualquer, é necessário chegar com certo tempo de antecedência t_{ij} , $(i, j) \in A$. Logo, os valores de tempo de cada arco $(i, j) \in A$ que compõe a rede são acrescidos de t_{ij} .

Desta maneira, o custo do caminho mínimo entre os aeroportos $s \in N$ e $t \in N: s \neq t$, expresso pela Função Objetivo (1), indica o tempo mínimo necessário para chegar ao aeroporto de destino (t) a partir do aeroporto de origem (s).

Sendo assim, para definição da matriz de compatibilidade, o modelo matemático (1)-(5) deve ser resolvido para todos os possíveis pares de aeroporto, ou seja, deve-se encontrar o caminho mínimo entre todos os nós do grafo, gerando uma matriz de caminhos mínimos e uma matriz de tempos. De posse destes resultados, pode-se avaliar se os tempos de viagem identificados em cada elemento da matriz de tempos são menores ou iguais ao tempo máximo disponível para deslocamento ($D_{máx}$) de cada órgão e, assim, cria-se a matriz de compatibilidade. De maneira resumida, a matriz de compatibilidade indica, para cada par de aeroportos, quais órgãos poderiam ser transportados respeitando seus *CIT* máximos.

Mesmo que a matriz de compatibilidade indique que é possível realizar o transporte, surge outro problema que consiste na disponibilidade dos voos para que as ligações entre os arcos sejam realizadas. Sendo assim, na seção seguinte é apresentado o modelo matemático baseado em voos que preenche esta lacuna.

4.2.2. Modelagem baseada em voos – Modelo 2

Seja $\mathcal{G} = (\mathcal{V}, \mathcal{A})$ um grafo sendo \mathcal{V} um conjunto de aeroportos (nós) e \mathcal{A} um conjunto de voos (arcos). Seja s o aeroporto de origem do órgão e t o seu aeroporto de destino, assim $\mathcal{V} = \mathcal{V}_T \cup \{s, t\}$, onde \mathcal{V}_T é o conjunto de aeroportos de parada

disponíveis entre os nós de origem e de destino. Neste estudo, considerar-se-á uma parada como sendo um aeroporto de transição entre os aeroportos de origem e de destino no qual é realizada uma escala ou uma conexão, com troca ou não de aeronave ou de tripulação.

Com relação ao conjunto \mathcal{A} , seja \mathcal{A}_{ij} o conjunto de todos os voos (arcos) disponíveis a partir do nó $i \in \mathcal{V}$ que se destinam ao nó $j \in \mathcal{V} / i \neq j$, então $\mathcal{A} = \cup_{(i,j)} \mathcal{A}_{ij}, \forall i, j \in \mathcal{V} / i \neq j$.

Um dado arco $a \in \mathcal{A}_{ij}$ representa um voo que tem horário de partida h_{ij}^a e duração d_{ij}^a . Além disso, supondo que o órgão tenha um tempo limite $D_{máx}$ (em função do *CIT* máximo) para se deslocar do aeroporto de origem s ao aeroporto de destino t , e considerando que esse órgão está disponível para viagem a partir do instante $H_{disponível}$, o caminho percorrido entre os nós s e t deve ser feito de tal maneira que o horário de chegada em t (T_t) seja minimizado e seja menor ou igual ao horário máximo possível ($H_{t\ máx}$). Por outro lado, a troca de um voo em um aeroporto pode requerer um tempo mínimo de manipulação do órgão e também um tempo para troca de aeronave, portanto seja τ_{ij} um parâmetro que representa o tempo necessário para estas operações. Para o problema de transporte de órgãos pelo modo aéreo verifica-se que as paradas, sejam escalas ou conexões, devem ser evitadas para que ocorra o mínimo de manipulações possíveis, desta forma, seja P uma penalização a ser empregada caso paradas sejam realizadas.

Sendo assim, seja $T_i \geq 0$ uma variável de tempo que representa o momento no qual o órgão deixa o nó $i \in \mathcal{V}/\{t\}$. Para o aeroporto de origem s , considera-se $T_s \geq H_{disponível}$. Seja $x_{ij}^a \in \{0,1\}$ uma variável binária de decisão que se $x_{ij}^a = 1$, a viagem de $i \in \mathcal{V}$ para $j \in \mathcal{V}$ é feita utilizando-se o voo (arco) $a \in \mathcal{A}_{ij}$, caso contrário, $x_{ij}^a = 0$.

Com base nas definições acima, o modelo matemático do problema do transporte órgãos baseado em voos é apresentado a seguir.

$$\text{Min } z = T_t + P \sum_{i \in \mathcal{V}/t} \sum_{j \in \mathcal{V}/\{s,t\}; i \neq j} \sum_{a \in \mathcal{A}_{ij}} x_{ij}^a \quad (6)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j \in \mathcal{V}/\{s\}} \sum_{a \in \mathcal{A}_{sj}} x_{sj}^a = 1 \quad (7)$$

$$\sum_{i \in \mathcal{V}/\{t\}} \sum_{a \in \mathcal{A}_{it}} x_{it}^a = 1 \quad (8)$$

$$\sum_{i \in \mathcal{V}/\{j,t\}} \sum_{a \in \mathcal{A}_{ij}} x_{ij}^a = \sum_{i \in \mathcal{V}/\{j,s\}} \sum_{a \in \mathcal{A}_{ji}} x_{ji}^a \quad \forall j \in \mathcal{V}_T \quad (9)$$

$$x_{ij}^a (T_i + d_{ij}^a - T_j + \tau_{ij}) \leq 0 \quad \forall i \in \mathcal{V}/t, j \in \mathcal{V}/s, a \in \mathcal{A}_{ij} \quad (10)$$

$$T_i = h_{ij}^a x_{ij}^a \quad \forall i \in \mathcal{V}/t, j \in \mathcal{V}/i, a \in \mathcal{A}_{ij} \quad (11)$$

$$T_t \leq H_{t \text{ máx}} \quad (12)$$

$$T_s \geq H_{\text{disponível}} \quad (13)$$

$$x_{ij}^a \in \{0,1\} \quad \forall i \in \mathcal{V}/t, j \in \mathcal{V}/i, a \in \mathcal{A}_{ij} \quad (14)$$

$$T_i \geq 0 \quad \forall i \in \mathcal{V}/t \quad (15)$$

A Função Objetivo (6) busca minimizar o tempo de chegada ao aeroporto de destino t e as paradas, caso ocorram. As Restrições (7) - (9) garantem a conservação do fluxo, conforme apresentado na Seção 4.1.1. As Restrições (10) garantem a contabilização da variável tempo (garantem o cálculo correto) e são responsáveis por fazer com que uma possível troca de voo seja executada, ou seja, somente permite-se tomar um voo caso o órgão esteja no aeroporto com τ_{ij} unidades de tempo de antecedência da sua partida. As Restrições (11) garantem que, se um arco for usado, o tempo de partida deve ser igual ao horário do voo selecionado. A Restrição (12) garante que o tempo de chegada ao aeroporto de destino seja menor ou igual ao horário máximo para chegada do órgão ($H_{t \text{ máx}}$). A Restrição (13) garante que o órgão inicia sua viagem após o momento no qual o mesmo está pronto para viajar. Por último, as Restrições (14)-(15) estão associadas ao domínio das variáveis de decisão.

4.2.3. Comentários sobre os dois modelos apresentados

Os dois modelos apresentados tem características distintas que indicam vantagens e desvantagens. O modelo para definição da matriz de compatibilidade é totalmente baseado no problema do caminho mínimo tradicional, o que se traduz em uma vantagem uma vez que alguns métodos de solução eficientes estão disponíveis na literatura. Entretanto, a matriz de compatibilidade apresenta a desvantagem de não considerar todos os voos existentes entre todos os pares de aeroportos. Sendo assim,

embora a matriz de compatibilidade indique que, para um determinado órgão, existe a possibilidade de realizar o transporte respeitando o *CIT* máximo do órgão, podem não existir voos que sejam compatíveis com o momento no qual o órgão foi liberado para o transporte. Por exemplo, se a compatibilidade for realizada considerando voos diurnos, mas o órgão for disponibilizado durante a noite, podem não existir voos entre a origem e o destino desejado.

Por outro lado, o modelo baseado em voos permite obter o caminho mínimo entre dois aeroportos, indicando quais os voos devem ser utilizados. Embora seja uma vantagem desta abordagem, isso pode tornar o modelo matemático bastante complexo, pois o número de variáveis de decisão pode crescer muito devido ao número de voos entre os pares de aeroportos, dificultando o processo de solução. Desta forma, sugere-se, na próxima seção, um fluxo para a aplicação dos dois modelos a fim de auxiliar no processo de decisão.

4.2.4. Fluxograma de Aplicação dos Modelos

Baseado no trabalho de MORENO *et al.* (2001), os dois modelos desenvolvidos no presente estudo apresentam, respectivamente, a compatibilidade e a possibilidade de se transportar determinado órgão de um aeroporto de origem para um de destino. Devido às vantagens e desvantagens de cada modelo, explicitadas na Seção 4.2.3, o fluxograma da Figura 4.2 mostra como os dois modelos podem ser utilizados.

4.3. Considerações finais

Neste capítulo foi apresentada a fundamentação teórica do problema do caminho mínimo e também dois dos algoritmos mais utilizados para a resolução desse problema, principalmente na área de transportes.

Os dois modelos matemáticos desenvolvidos no presente estudo foram descritos detalhadamente e apresentou-se um fluxo para sua aplicação em sequência. Além disso, foram expostas vantagens e desvantagens demonstradas por cada um dos modelos.

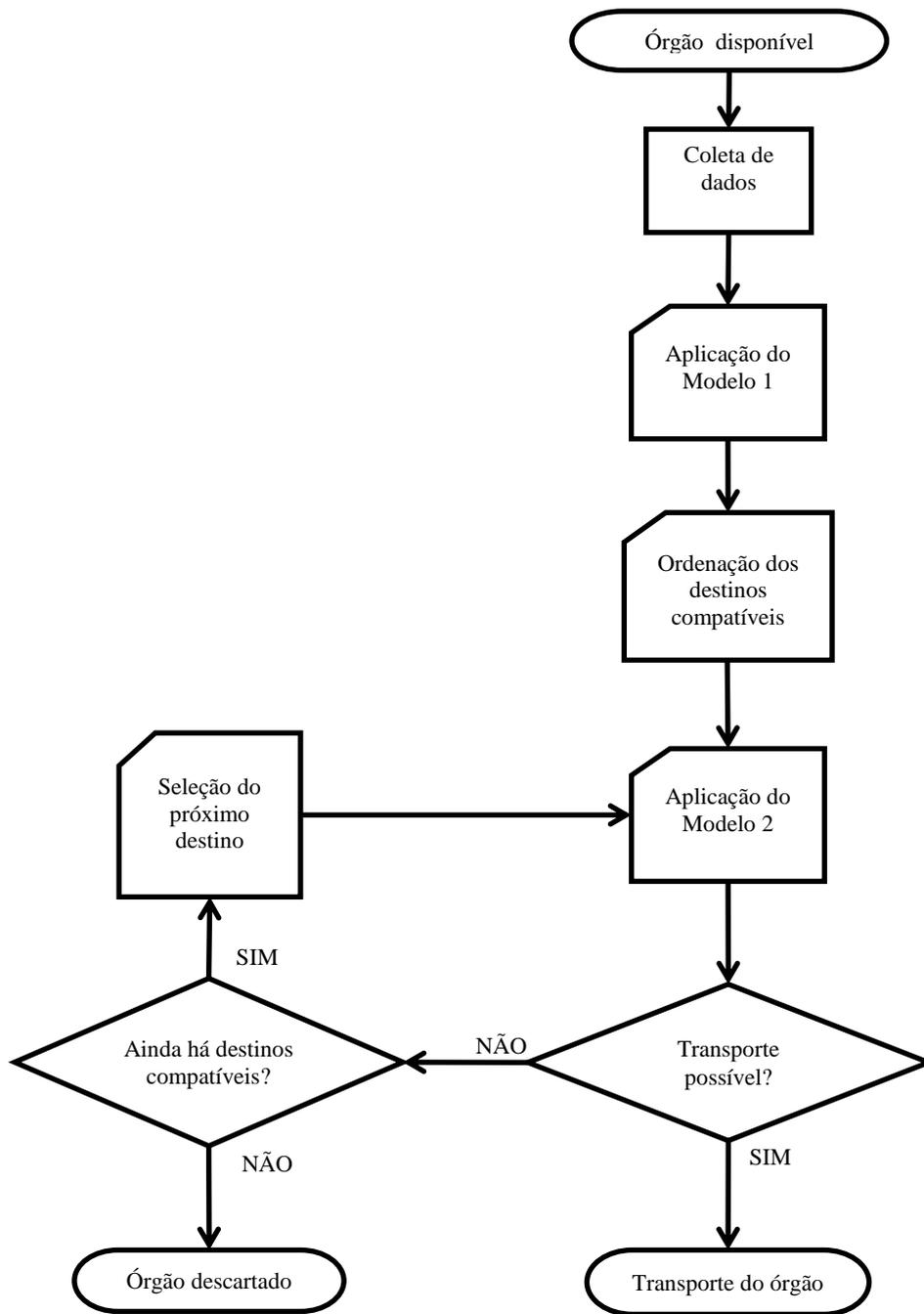


Figura 4.2: Fluxograma de aplicação dos modelos para transporte do órgão.

5. APLICAÇÃO DOS MODELOS E DEFINIÇÃO DO CAMINHO MÍNIMO PARA TRANSPORTE DE ÓRGÃO

Neste capítulo, os procedimentos descritos no Capítulo 4 são aplicados a casos reais de órgãos que foram disponibilizados à CNT para transplante em pacientes de estados distintos do seu doador.

O capítulo apresenta os procedimentos aplicados neste estudo para a definição do melhor caminho e considerando os melhores voos para o transporte de cada um dos órgãos disponibilizados. Para isso, foram coletados dados de órgãos disponibilizados para a distribuição da CNT entre os dias 27 de fevereiro e 20 de março de 2014 por meio de um trabalho de campo desenvolvido junto àquele órgão, em Brasília.

Assim, é apresentada a rede de aeroportos e voos considerada neste estudo e são apresentados os dados coletados para a aplicação do Modelo 1 e, posteriormente, com base nos resultados trazidos desse modelo, a aplicação de cada caso ao Modelo 2 e a apresentação dos resultados obtidos em cada um dos cenários definidos.

Para a aplicação dos modelos matemáticos propostos no presente trabalho, foi utilizado um computador portátil Compaq Presario C750BR com Processador Intel® Celeron M540 e 2GB de memória.

5.1. Rede de aeroportos e voos

No escopo deste estudo, foi incluído um total de 32 aeroportos brasileiros, sendo considerados os principais aeroportos de cada uma das capitais dos estados do país, além do Aeroporto Internacional de São Paulo – Governador André Franco Montoro (Aeroporto de Guarulhos), do Aeroporto Internacional de Viracopos (Aeroporto Viracopos) e do Aeroporto Estadual Dr. Leite Lopes (Aeroporto de Ribeirão Preto).

O Aeroporto de Guarulhos foi incluído no estudo por ser o aeroporto com mais movimento de passageiros e voos do Brasil (ANAC, 2013b). O Aeroporto Viracopos foi inserido no escopo por sua importância no transporte de cargas e também por ser a base principal de uma das empresas aéreas participante do acordo de cooperação técnica para transporte de órgãos (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2013). O Aeroporto de Ribeirão Preto, assim como Viracopos, foi incluído por servir de base para outra empresa aérea presente no estudo.

O Aeroporto Internacional Antônio Carlos Jobim (Aeroporto Galeão) e o Aeroporto Santos Dumont foram considerados como um único nó localizado no Rio de

Janeiro. Da mesma maneira, o Aeroporto Internacional Tancredo Neves (Aeroporto de Confins) e o Aeroporto Carlos Drummond de Andrade (Aeroporto da Pampulha) foram considerados como um único nó localizado em Belo Horizonte. Por este motivo, a rede de 32 aeroportos está representada neste estudo por um total de 30 nós.

A Tabela 5.1 representa os aeroportos (nós) presentes na rede estudada. As siglas dos aeroportos derivam dos respectivos códigos OACI (Organização da Aviação Civil Internacional) e a região de transplante segue o que já fora definido na Tabela 2.3, no Capítulo 2.

Tabela 5.1: Lista de aeroportos (nós) da rede estudada.

Nó	Aeroporto	Cidade	Estado	Região do país	Região de transplante
1	SBMO	Maceió	AL	Nordeste	A
2	SBSV	Salvador	BA	Nordeste	A
3	SBFZ	Fortaleza	CE	Nordeste	A
4	SBSL	São Luís	MA	Nordeste	A
5	SBJP	João Pessoa	PB	Nordeste	A
6	SBRF	Recife	PE	Nordeste	A
7	SBTE	Teresina	PI	Nordeste	A
8	SBNT	Natal	RN	Nordeste	A
9	SBAR	Aracaju	SE	Nordeste	A
10	SBBR	Brasília	DF	Centro-Oeste	B
11	SBGO	Goiânia	GO	Centro-Oeste	B
12	SBCG	Campo Grande	MS	Centro-Oeste	B
13	SBCY	Cuiabá	MT	Centro-Oeste	B
14	SBRB	Rio Branco	AC	Norte	B
15	SBEG	Manaus	AM	Norte	B
16	SBMQ	Macapá	AP	Norte	B
17	SBBE	Belém	PA	Norte	B
18	SBPV	Porto Velho	RO	Norte	B
19	SBBV	Boa Vista	RR	Norte	B
20	SBPJ	Palmas	TO	Norte	B
21	SBKP	Campinas	SP	Sudeste	B
22	SBRP	Ribeirão Preto	SP	Sudeste	B
23	SBGR	Guarulhos	SP	Sudeste	B
24	SBSP	São Paulo	SP	Sudeste	B
25	SBVT	Vitória	ES	Sudeste	C
26	SBBH/SBCF	Belo Horizonte	MG	Sudeste	C
27	SBRJ/SBGL	Rio de Janeiro	RJ	Sudeste	C
28	SBCT	Curitiba	PR	Sul	D
29	SBPA	Porto Alegre	RS	Sul	D
30	SBFL	Florianópolis	SC	Sul	D

Representando os arcos, consideraram-se todos os voos presentes em ANAC (2013a) operados em todos os dias úteis da semana por todas as empresas aéreas presentes no Acordo de Cooperação descrito por MINISTÉRIO DA SAÚDE (2013). Assim, definiu-se a matriz de valores apresentada na Tabela 5.2 que é a base para os cálculos dos caminhos mínimos entre os pares de aeroportos nos dois modelos. Os números dos nós correspondem aos aeroportos definidos na Tabela 5.1, sendo que a primeira coluna representa as origens e a primeira linha os destinos. Para os cruzamentos em que não há um valor definido de tempo não existe uma ligação direta entre o par de aeroportos.

No Modelo 2, consideraram-se múltiplos arcos entre cada par possível de aeroportos, de acordo com a matriz de valores. Assim, cada par de nós adjacentes entre si, ou seja, pares de aeroportos que possuem ligação direta por meio de um arco com um valor estabelecido em tempo de voo pela matriz de valores, no Modelo 2 receberam um ou mais arcos representando cada um dos voos que ligam esses nós.

5.2. Coleta de dados sobre o transporte de órgãos

Com base no fluxograma apresentado na Figura 4.2, antes da aplicação dos modelos, alguns dados sobre o órgão a ser transplantado devem ser coletados. Os seguintes dados foram coletados para cada um dos órgãos disponibilizados durante a pesquisa de campo deste estudo:

- Data de disponibilidade do órgão;
- Aeroporto de origem do órgão (s);
- Opções de destino do órgão (t);
- Tipo de órgão;
- Horário de clampeamento (H_{cp}).

A data de disponibilidade do órgão consta apenas para informação, uma vez que sua presença nos modelos não é relevante, pois na modelagem não se faz distinção entre os dias da semana em que são operados os voos, ou seja, considerou-se que todos os voos presentes são operados em todos os dias da semana.

O aeroporto de origem s do órgão é um dado conhecido no momento em que este é disponibilizado para a CNT. A partir daí, a CNT define opções de destino, por ordem de prioridade, de acordo com os critérios de alocação estabelecidos nas normas

vigentes (BRASIL, 1997a; MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2001), conforme exposto no fluxograma da Figura 2.5.

O tipo de órgão definirá o tempo que se tem para realizar o transporte, com base no *CIT* máximo de cada órgão que consta na Tabela 2.2 do Capítulo 2. Para se definir o tempo disponível para o transporte, realizou-se entrevista com a CNT, na qual se questionaram os menores tempos possíveis para realização das cirurgias de retirada e para armazenagem de cada órgão em embalagem apropriada para o transporte. Para padronizar o cálculo, considerou-se, ainda, um tempo médio de 30 minutos de transporte entre o hospital onde se deu a doação e o aeroporto de origem mais próximo e mais 30 minutos de transporte entre o aeroporto de destino mais próximo do receptor e o hospital transplantador. O tempo de cirurgia de implante do órgão no receptor foi desconsiderado por considerá-lo um tempo muito variável e dependente de cada caso específico. Em algumas situações, por exemplo, quando o órgão chega ao hospital transplantador, o paciente já se encontra preparado para o recebimento do enxerto, praticamente não incidindo *CIT* ao órgão após sua chegada ao centro transplantador.

Assim, a Figura 5.1 representa os tempos considerados para o cálculo do tempo máximo disponível ($D_{máx}$) para o deslocamento do órgão entre os aeroportos de origem e destino envolvidos dentro do seu período máximo de isquemia fria. Como se vê na ilustração, D_{cg} representa o tempo aplicável à cirurgia de retirada do órgão do corpo de seu doador, D_{hs} representa o tempo de transporte entre o hospital e o aeroporto de origem do órgão, D_{st} representa o tempo de deslocamento aéreo entre o aeroporto de origem e o de destino, o qual deve ser menor ou igual ao tempo máximo disponível para deslocamento ($D_{máx}$), e D_{th} representa o tempo de transporte entre o aeroporto de destino e o hospital transplantador.

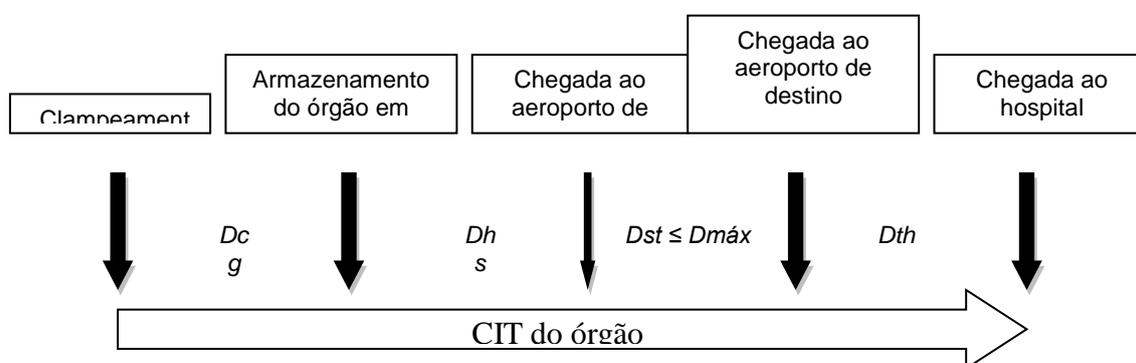


Figura 5.1: Tempos considerados durante o *CIT* do órgão.

Tabela 5.2: Matriz de valores da rede de aeroportos estudada.

i\j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	-	1:08	-	-	0:55	0:38	-	-	0:48	2:10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3:04	-	2:35	-	-	2:17	2:49	-	-	-
2	0:58	-	1:33	-	2:00	1:08	-	1:35	0:46	1:49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2:31	-	2:22	2:37	1:30	1:41	2:03	2:58	-	-
3	-	1:40	-	1:13	1:36	1:04	1:02	0:57	-	2:29	-	-	-	-	3:13	-	1:47	-	-	-	3:28	-	3:13	-	-	-	3:16	-	-	-
4	-	-	1:10	-	-	-	0:50	-	-	2:19	-	-	-	-	-	-	1:04	-	-	-	-	-	3:25	-	-	2:52	3:25	-	-	-
5	0:55	2:00	1:32	-	-	-	-	-	-	2:42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3:18	-	3:15	-	-	-	3:09	-	-	-
6	0:42	0:57	1:14	-	-	-	1:45	0:52	1:03	2:29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3:15	-	3:05	-	-	2:30	2:51	-	-	-
7	-	-	0:58	0:50	-	1:35	-	-	-	2:15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3:08	-	3:25	-	-	-	-	-	-	-
8	-	1:30	1:02	-	-	0:53	-	-	-	2:45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3:28	-	3:15	-	-	2:45	2:46	-	-	-
9	0:40	0:47	-	-	-	0:53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2:45	-	2:25	-	-	-	2:12	-	-	-
10	2:20	1:51	2:16	2:25	2:34	2:07	2:01	2:44	-	-	0:34	1:48	1:29	3:15	2:57	-	2:21	2:55	-	1:10	1:35	1:37	1:29	1:30	1:50	1:02	1:24	1:48	2:30	2:01
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0:37	-	-	1:20	-	-	-	-	-	-	-	1:20	1:30	1:21	1:26	1:17	-	1:13	1:45	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1:39	-	-	1:04	-	-	-	-	-	-	-	1:30	-	1:33	1:26	-	-	2:02	1:32	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1:30	1:17	1:00	-	-	-	-	-	1:45	-	-	1:53	-	2:05	1:52	-	2:18	2:36	3:01	3:35	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3:16	-	-	-	-	-	-	-	1:00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	3:13	-	-	-	-	-	-	2:39	-	-	-	-	-	-	1:59	1:25	1:13	-	3:43	-	3:45	-	-	3:37	4:00	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0:50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	1:48	1:05	-	-	-	-	-	2:20	-	-	-	-	1:57	0:50	-	-	-	-	3:44	-	3:38	-	-	3:02	3:43	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2:58	-	-	1:50	1:00	1:17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1:17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0:47	1:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	2:55	2:17	3:18	-	3:12	3:00	3:12	3:21	2:35	1:35	1:30	1:40	2:06	-	3:55	-	3:32	-	-	-	-	1:00	-	-	1:30	1:07	0:39	0:58	1:39	1:13
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1:44	1:20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0:51	-	0:53	0:49	-	0:31	1:04	-	-	-
23	2:53	2:07	2:58	2:47	3:04	2:53	3:05	3:15	2:32	1:29	1:30	1:40	2:09	-	3:30	-	3:20	-	-	-	-	0:57	-	-	0:55	1:04	0:52	0:55	1:25	1:05
24	-	2:24	-	-	-	-	-	-	-	1:38	1:18	1:39	2:04	-	-	-	-	-	-	-	-	0:53	-	-	1:22	0:51	0:49	0:44	1:21	1:03
25	-	1:27	-	-	-	-	-	-	-	1:49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1:45	-	1:30	1:27	-	0:51	0:53	-	-	-
26	-	1:42	2:54	2:44	-	2:22	-	-	2:03	1:01	1:20	-	2:25	-	3:44	-	3:05	-	-	-	1:05	1:06	1:12	1:02	0:58	-	0:54	1:34	2:25	-
27	2:41	1:57	3:02	3:20	2:58	2:46	-	3:02	2:20	1:31	1:55	2:32	2:51	-	3:56	-	3:35	-	-	-	0:46	1:19	0:50	0:51	0:55	0:58	-	1:28	2:03	1:37
28	-	2:42	-	-	-	-	-	-	-	1:53	-	1:32	3:07	-	-	-	-	-	-	-	0:59	-	0:59	0:44	-	1:28	1:15	-	0:51	0:48
29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2:23	-	-	3:37	-	-	-	-	-	-	-	1:36	-	1:33	1:31	-	2:10	1:52	1:02	-	0:45
30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2:15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1:12	-	1:00	1:01	-	-	1:26	0:50	0:52	-

Fonte: Adaptado de ANAC (2013a)

Com base nos dados coletados, os seguintes valores são calculados:

- Horário de disponibilidade do órgão no aeroporto de origem ($H_{disponível}$);
- Tempo máximo disponível para deslocamento aéreo do órgão ($D_{máx}$);
- Horário limite para a chegada do órgão ao hospital transplantador ($H_{h\ máx}$);
- Horário máximo para a chegada do órgão ao aeroporto de destino ($H_{t\ máx}$).

O valor de $H_{disponível}$ representa o horário em que o órgão chegará ao aeroporto de origem, sendo que $H_{disponível}$ é estimado pela soma do horário de clampeamento (H_{cp}) com o tempo de cirurgia (D_{cg}) e o tempo de deslocamento entre o hospital de retirada e o aeroporto de origem (D_{hs}), assim, tem-se que $H_{disponível} = H_{cp} + D_{cg} + D_{hs}$.

A Tabela 5.3 apresenta os valores mínimos de D_{cg} com base nas informações obtidas junto à CNT e também outros valores considerados para o cálculo do tempo máximo disponível para deslocamento ($D_{máx}$). Consideraram-se os CIT máximos possíveis para cada tipo de órgão transplantado em território nacional. Portanto, $D_{máx} = CIT_{máx} - D_{cg} - D_{hs} - D_{th}$. Assim, para que o transporte seja possível, o tempo de deslocamento deve ser menor ou igual ao tempo disponível para transporte, ou seja, $D_{st} \leq D_{máx}$.

Tabela 5.3: Valores considerados para o cálculo do $D_{máx}$.

Órgão	$CIT_{máx}$	D_{cg}	D_{hs}	D_{th}	$D_{máx}$
Coração	04:00	00:30	00:30	00:30	02:30
Pulmão	06:00	00:30	00:30	00:30	04:30
Fígado	12:00	00:40	00:30	00:30	10:20
Pâncreas	20:00	01:00	00:30	00:30	18:00
Rim	36:00	01:20	00:30	00:30	33:40

Fonte: Entrevistas.

Já o $H_{h\ máx}$ representa o horário em que o órgão deve estar pronto para transplante na sala de cirurgia do hospital transplantador. Este dado é definido pela soma do horário de clampeamento (H_{cp}) com o CIT máximo do órgão. A partir do $H_{h\ máx}$, será calculado o $H_{t\ máx}$, que é o horário limite em que o órgão deve chegar ao aeroporto de destino (t). Assim, $H_{t\ máx} = H_{h\ máx} - D_{th}$.

Tabela 5.4A Tabela 5.4 apresenta os dados coletados. Cada linha da tabela representa um caso de órgão disponibilizado durante os dias pesquisados. Os destinos dos órgãos (t_n) constam em ordem de prioridade, de acordo com os critérios do

MINISTÉRIO DA SAÚDE (2001). Em razão do elevado número de receptores em cada lista de compatibilidade, foram coletados os dados de até 20 receptores em cada ocasião, o que representou até nove destinos diferentes para cada um dos casos estudados. Os aeroportos de destino constam pelas suas respectivas siglas, conforme apresentado na Tabela 5.1, sendo que SBRJ representa os dois aeroportos no Rio de Janeiro (aeroportos Santos Dumont e Galeão) e SBBH representa os dois em Belo Horizonte (aeroportos Pampulha e Confins).

Neste estudo, os destinos no estado de São Paulo somente foram considerados para casos em que o órgão foi efetivamente alocado naquele estado, uma vez que, segundo informações da CNT, São Paulo é o único estado que não faz parte do sistema informatizado de alocação de órgãos. Os destinos reais para os quais os órgãos foram transportados estão destacados em negrito.

Nem sempre a alocação de um órgão é feita para o primeiro receptor na lista de prioridades. Por exemplo, no caso C01, o receptor que recebeu efetivamente o órgão foi o quarto da lista, o qual se localizava em Vitória-ES (SBVT). Apesar de não ter sido possível identificar as razões específicas pelas quais alguns dos órgãos não foram alocados ao primeiro receptor das respectivas listas, sabe-se que tal fato pode se dar por motivos logísticos no transporte do órgão, segundo informações fornecidas pela CNT.

Tabela 5.4: Dados de órgãos disponibilizados durante a pesquisa.

Caso	Órgãos	Data	H_{cp}	s	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9
C01	Rim	27/fev	00:52	SBSV	SBRF	SBFZ	SBRJ	SBVT	SBBH				
C02	Rins	27/fev	05:00	SBRJ	SBVT	SBBH	SBRF	SBCT	SBPA				
C03	Rins	01/mar	07:44	SBFZ	SBRF	SBRJ	SBVT	SBBR					
C04	Rim	01/mar	11:45	SBSV	SBRF	SBFZ	SBPA	SBBR	SBBH				
C05	Fígado	04/mar	01:42	SBBH	SBVT	SBRJ	SBCT	SBRF	SBPA				
C06	Rins	04/mar	01:42	SBBH	SBRJ	SBVT	SBPA						
C07	Fígado	04/mar	17:35	SBCG	SBRF	SBBR	SBRJ	SBVT	SBBH	SBPA			
C08	Coração	04/mar	17:35	SBCG	SBSP	SBBR							
C09	Rins	04/mar	17:35	SBCG	SBSP	SBEG	SBBE	SBBR	SBGO	SBRF			
C10	Fígado	05/mar	01:25	SBSV	SBRF	SBFZ	SBRJ	SBCT	SBVT	SBBR	SBBH		
C11	Rim	06/mar	23:40	SBRB	SBRF	SBBR	SBBE	SBGO					
C12	Rim	06/mar	23:40	SBRB	SBRF	SBGR	SBBR	SBBE	SBGO				
C13	Fígado	06/mar	23:40	SBRB	SBBR	SBRJ	SBVT	SBRF	SBFZ				
C14	Fígado	07/mar	03:35	SBNT	SBSV	SBRF	SBFZ	SBRJ	SBBR	SBCT	SBVT		
C15	Rim	07/mar	14:30	SBFL	SBSP	SBPA	SBCT	SBRJ	SBRF	SBBH	SBBE	SBVT	
C16	Rim	07/mar	14:30	SBFL	SBPA	SBCT	SBRJ	SBRF	SBBH	SBBE	SBVT		

Tabela 5.4: Dados de órgãos disponibilizados durante a pesquisa (continuação).

Caso	Órgãos	Data	H_{cp}	s	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9
C17	Rim	08/mar	12:15	SBFL	SBRF	SBSP	SBPA						
C18	Fígado	11/mar	10:38	SBNT	SBRF	SBFZ	SBRJ	SBBR	SBVT	SBCT			
C19	Fígado	12/mar	23:43	SBNT	SBGR	SBRF	SBFZ	SBCT	SBRJ	SBBR	SBVT		
C20	Fígado	18/mar	11:45	SBSV	SBFZ	SBRF	SBRJ	SBBR					
C21	Rim	19/mar	15:00	SBFZ	SBSV	SBMO	SBPA	SBRJ	SBBE	SBTE	SBJP	SBRF	SBSL
C22	Rins	20/mar	00:00	SBFZ	SBSV	SBMO	SBJP	SBRF	SBNT	SBTE			
C23	Coração	20/mar	03:36	SBGO	SBBR								
C24	Pulmão	20/mar	03:36	SBGO	SBBR								
C25	Fígado	20/mar	03:36	SBGO	SBBR	SBRJ	SBVT	SBPE	SBCE	SBPR			

A Tabela 5.5 apresenta os dados calculados com base naqueles que foram coletados, conforme estabelecido na presente Seção.

Tabela 5.5: Cálculo dos dados para aplicação nos modelos.

Caso	Órgão	$CIT_{máx}$	H_{cp}	$H_{disponível}$	$D_{máx}$	$H_h máx$	$H_t máx$
C01	Rim	36:00	00:52	02:42	33:40	12:52 (D+1)	12:22 (D+1)
C02	Rins	36:00	05:00	06:50	33:40	17:00 (D+1)	16:30 (D+1)
C03	Rins	36:00	07:44	09:34	33:40	19:44 (D+1)	19:14 (D+1)
C04	Rim	36:00	11:45	13:35	33:40	23:45 (D+1)	23:15 (D+1)
C05	Fígado	12:00	01:42	02:52	10:20	13:42	13:12
C06	Rins	36:00	01:42	03:32	33:40	13:42 (D+1)	13:12 (D+1)
C07	Fígado	12:00	17:35	18:45	10:20	05:35 (D+1)	05:05 (D+1)
C08	Coração	04:00	17:35	18:35	02:30	21:35	21:05
C09	Rins	36:00	17:35	19:25	33:40	05:35 (D+2)	05:05 (D+2)
C10	Fígado	12:00	01:25	02:35	10:20	13:25	12:55
C11	Rim	36:00	23:40	01:30 (D+1)	33:40	11:40 (D+2)	11:10 (D+2)
C12	Rim	36:00	23:40	01:30 (D+1)	33:40	11:40 (D+2)	11:10 (D+2)
C13	Fígado	12:00	23:40	00:50 (D+1)	10:20	11:40 (D+1)	11:10 (D+1)
C14	Fígado	12:00	03:35	04:45	10:20	15:35	15:05
C15	Rim	36:00	14:30	16:20	33:40	02:30 (D+2)	02:00 (D+2)
C16	Rim	36:00	14:30	16:20	33:40	02:30 (D+2)	02:00 (D+2)
C17	Rim	36:00	12:15	14:05	33:40	00:15 (D+2)	23:45 (D+1)
C18	Fígado	12:00	10:38	11:48	10:20	22:38	22:08
C19	Fígado	12:00	23:43	00:53 (D+1)	10:20	11:43 (D+1)	11:13 (D+1)
C20	Fígado	12:00	11:45	12:55	10:20	23:45	23:15
C21	Rim	36:00	15:00	16:50	33:40	03:00 (D+2)	02:30 (D+2)
C22	Rins	36:00	00:00	01:50	33:40	12:00 (D+1)	11:30 (D+1)
C23	Coração	04:00	03:36	04:36	02:30	07:36	07:06
C24	Pulmão	06:00	03:36	04:36	04:30	09:36	09:06
C25	Fígado	12:00	03:36	04:46	10:20	15:36	15:06

D+1: Um dia após o dia de clampeamento; D+2: Dois dias após o dia de clampeamento.

5.3. Resultados do Modelo 1

Para a aplicação deste modelo, foi utilizada a ferramenta What's Best versão 11.1 (LINDO, 2013) como um suplemento do Excel 2003 da MICROSOFT®.

Na aplicação do Modelo 1 foi considerado um t_{ij} de 30 minutos que, conforme extrapolado na Seção 4.2.1, representa um tempo mínimo de antecedência a ser considerado para a tomada de cada um dos voos entre os pares de aeroportos. Assim, cada arco da rede foi acrescido de 30 minutos em seu tempo para o cálculo do caminho mínimo.

Os dados apresentados na matriz de valores da Tabela 5.2 foram utilizados para a construção de uma matriz de tempos e uma matriz de caminhos. A matriz de tempos, mostrada na Tabela 5.6, representa os tempos mínimos de deslocamento entre cada par de origens e destinos da rede, enquanto a matriz de caminhos, presente no Apêndice A, representa os caminhos mínimos correspondentes a serem percorridos. As cores utilizadas nas células dessas matrizes estão divididas por região de transplante, conforme estabelecido por MINISTÉRIO DA SAÚDE (2001) e apresentado na Tabela 2.3 e na Figura 2.4 do Capítulo 2.

Para a geração da matriz de compatibilidade buscaram-se os $D_{máx}$ de cada órgão, os quais foram comparados com os D_{st} de cada par de origens e destinos da rede, conforme expressos na matriz de tempos. A Tabela 5.7 apresenta a matriz de compatibilidade para os casos estudados, após a aplicação do Modelo 1, levando-se em consideração todos os 30 destinos da rede. As aeroportos de origem e destino estão representados pelos números dos nós, conforme Tabela 5.1.

Como pode se observar pela análise conjunta da Tabela 5.7 com a Tabela 5.4, todos os destinos considerados pela CNT para cada caso estudado podem ser classificados como destinos compatíveis utilizando-se voos regulares, levando-se em consideração os caminhos mínimos entre cada par de origens e destinos. A Tabela 5.8 apresenta os tempos de deslocamento (D_{st}) e os caminhos mínimos, após a aplicação do Modelo 1, para os reais aeroportos de origem e destino entre os quais esses órgãos foram transportados em cada um dos 25 casos estudados.

Tabela 5.6: Matriz de tempos da rede.

s\t	A									B														C			D				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
A	1	-	1:38	2:52	4:35	1:25	1:08	3:23	2:30	1:18	2:40	3:44	4:58	4:39	6:25	6:07	6:29	5:09	6:05	7:50	4:20	3:34	4:32	3:05	4:19	3:38	2:47	3:19	4:30	5:00	4:40
	2	1:28	-	2:03	3:46	2:30	1:38	3:35	2:05	1:16	2:19	3:23	4:37	4:18	6:04	5:46	5:40	4:20	5:44	7:29	3:59	3:01	4:19	2:52	3:07	2:00	2:11	2:33	3:28	4:47	4:27
	3	2:46	2:10	-	1:43	2:06	1:34	1:32	1:27	3:07	2:59	4:03	5:17	4:58	6:44	3:43	3:37	2:17	5:38	5:26	4:39	3:58	5:06	3:43	4:59	4:10	4:21	3:46	5:08	5:38	5:18
	4	4:26	3:50	1:40	-	3:46	3:14	1:20	3:07	4:47	2:49	3:53	5:07	4:48	6:34	4:01	2:54	1:34	5:56	5:44	4:29	4:54	4:56	3:55	4:49	4:50	3:22	3:55	5:07	5:49	5:20
	5	1:25	2:30	2:02	3:45	-	2:33	3:34	3:29	2:43	3:12	4:16	5:30	5:11	6:57	5:45	5:39	4:19	6:37	7:28	4:52	3:48	5:12	3:45	5:00	4:30	4:12	3:39	5:10	5:40	5:20
	6	1:12	1:27	1:44	3:27	2:37	-	2:15	1:22	1:33	2:59	4:03	5:17	4:58	6:44	5:27	5:21	4:01	6:24	7:10	4:39	3:45	5:02	3:35	4:32	3:27	3:00	3:21	4:55	5:30	5:10
	7	3:17	3:32	1:28	1:20	3:34	2:05	-	2:55	3:38	2:45	3:49	5:03	4:44	6:30	5:11	4:14	2:54	6:10	6:54	4:25	3:38	4:52	3:55	4:45	5:05	4:17	4:39	5:03	5:45	5:16
	8	2:35	2:00	1:32	3:15	3:38	1:23	3:04	-	2:56	3:15	4:19	5:33	5:14	7:00	5:15	5:09	3:49	6:40	6:58	4:55	3:58	5:05	3:45	4:37	4:00	3:15	3:16	5:10	5:40	5:20
	9	1:10	1:17	3:07	4:50	2:35	1:23	3:38	2:45	-	3:36	4:40	5:05	5:34	7:21	6:50	6:44	5:24	7:01	8:33	5:16	3:15	4:22	2:55	4:03	3:17	3:28	2:42	4:20	4:50	4:30
B	10	2:50	2:21	2:46	2:55	3:04	2:37	2:31	3:14	3:37	-	1:04	2:18	1:59	3:45	3:27	4:11	2:51	3:25	5:10	1:40	2:05	2:07	1:59	2:00	2:20	1:32	1:54	2:18	3:00	2:31
	11	3:57	3:28	3:53	4:02	4:11	3:44	3:38	4:21	4:16	1:07	-	3:20	1:50	4:52	4:34	5:18	3:58	4:05	6:17	1:50	2:00	1:51	1:56	1:47	3:11	1:43	2:15	3:01	3:38	3:20
	12	4:59	4:30	4:55	5:04	5:13	4:46	4:40	5:23	5:05	2:09	3:13	-	1:34	5:19	5:36	6:20	5:00	3:49	7:19	3:49	2:00	3:19	2:03	1:56	3:28	3:17	2:32	2:02	3:23	3:20
	13	4:50	4:21	4:46	4:55	5:04	4:37	4:31	5:14	5:21	2:00	1:47	1:30	-	3:45	4:02	6:11	4:51	2:15	5:45	3:37	2:23	3:38	2:35	2:22	4:00	2:48	3:06	3:31	4:05	3:55
	14	6:36	6:07	6:32	6:41	6:50	6:23	6:17	7:00	7:23	3:46	4:50	5:20	3:50	-	3:17	7:06	5:46	1:30	5:00	5:26	5:51	5:53	5:45	5:46	6:06	5:18	5:40	6:04	6:46	6:17
	15	5:59	5:30	3:43	4:04	5:49	5:17	5:15	5:10	6:40	3:09	4:13	5:27	4:15	3:25	-	3:49	2:29	1:55	1:43	4:49	4:13	5:16	4:15	5:09	5:29	4:07	4:30	5:27	6:09	5:40
	16	6:24	5:48	3:38	2:55	5:44	5:12	4:15	5:05	6:45	4:10	5:14	6:28	6:09	7:12	3:47	-	1:20	5:42	5:30	5:50	5:34	6:17	5:28	6:10	6:20	4:52	5:33	6:28	7:10	6:41
	17	5:04	4:28	2:18	1:35	4:24	3:52	2:55	3:45	5:25	2:50	3:54	5:08	4:49	5:52	2:27	1:20	-	4:22	4:10	4:30	4:14	4:57	4:08	4:50	5:00	3:32	4:13	5:08	5:50	5:21
	18	6:18	5:49	5:30	5:51	6:32	6:05	5:59	6:42	7:05	3:28	4:07	3:50	2:20	1:30	1:47	5:36	4:16	-	3:30	5:08	4:43	5:35	4:55	4:42	5:48	5:00	5:22	5:46	6:25	5:59
	19	7:46	7:17	5:30	5:51	7:36	7:04	7:02	6:57	8:27	4:56	6:00	7:14	6:02	5:12	1:47	5:36	4:16	3:42	-	6:36	6:00	7:03	6:02	6:56	7:16	5:54	6:17	7:14	7:56	7:27
	20	4:07	3:38	4:03	4:12	4:21	3:54	3:48	4:31	4:54	1:17	1:50	3:35	3:16	5:02	4:44	5:28	4:08	4:42	6:27	-	3:22	3:24	3:16	3:17	3:37	2:49	3:11	3:35	4:17	3:48
	21	3:25	2:47	3:48	4:51	3:42	3:30	3:42	3:51	3:05	2:05	2:00	2:10	2:36	5:50	4:25	5:22	4:02	4:51	6:08	3:45	-	1:30	2:29	2:30	2:00	1:37	1:09	1:28	2:09	1:43
	22	4:45	4:00	4:51	4:40	4:57	4:46	4:45	5:06	4:24	2:14	1:50	3:28	3:40	5:59	5:23	6:25	5:05	5:39	7:06	3:40	1:21	-	1:23	1:19	2:48	2:40	1:34	2:33	3:10	2:52
	23	3:23	2:37	3:28	3:17	3:34	3:23	3:35	3:45	3:02	1:59	2:00	2:10	2:39	5:44	4:00	5:10	3:50	4:54	5:43	3:39	2:38	1:27	-	2:39	1:25	1:34	1:22	1:25	1:55	1:35
	24	4:22	2:54	4:45	4:35	4:47	4:13	4:39	4:51	3:54	2:08	1:48	2:09	2:34	5:53	5:35	6:16	4:56	4:49	7:18	3:38	2:35	1:23	2:39	-	1:52	1:21	1:19	1:14	1:51	1:33
C	25	3:25	1:57	4:00	4:35	4:27	3:35	4:50	4:02	3:13	2:19	3:11	4:06	4:16	6:04	5:35	6:16	4:56	5:44	7:18	3:59	2:15	3:12	2:00	1:57	-	1:21	1:23	3:11	3:48	3:30
	26	3:40	2:12	3:24	3:14	4:35	2:52	4:02	4:14	2:33	1:31	1:50	3:41	2:55	5:16	4:14	4:55	3:35	4:56	5:57	3:11	1:35	2:55	1:42	1:32	1:28	-	1:24	2:04	2:55	3:05
	27	3:11	2:27	3:32	3:50	3:28	3:16	4:32	3:32	2:50	2:01	2:25	3:02	3:21	5:46	4:26	5:25	4:05	5:26	6:09	3:41	1:16	1:49	1:20	1:21	1:25	1:28	-	1:58	2:33	2:07
D	28	4:40	3:12	4:57	4:46	5:03	4:50	4:54	5:14	4:28	2:23	3:02	2:02	3:36	6:08	5:29	6:34	5:14	5:48	7:12	4:03	1:29	2:37	1:29	1:14	2:54	1:58	1:45	-	1:21	1:18
	29	5:26	4:40	5:31	5:20	5:37	5:26	5:24	5:48	5:05	2:53	3:49	3:34	4:07	6:38	6:03	7:04	5:44	6:18	7:46	4:33	2:06	3:24	2:03	2:01	3:28	2:40	2:22	1:32	-	1:15
	30	4:53	4:07	4:58	4:47	5:04	4:53	5:05	5:15	4:32	2:45	3:19	3:22	4:05	6:30	5:30	6:40	5:20	6:10	7:13	4:25	1:42	2:54	1:30	1:31	2:55	2:52	1:56	1:20	1:22	-

Tabela 5.8: Resultados do Modelo 1 aplicados aos casos reais.

Caso	s	t	D_{st}	Caminho mínimo
C01	SBSV	SBVT	2:00	SBSV-SBVT
C02	SBRJ	SBPA	2:33	SBRJ-SBPA
C03	SBFZ	SBRF	1:34	SBFZ-SBRF
C04	SBSV	SBPA	4:47	SBSV-SBGR-SBPA
C05	SBBH	SBVT	1:28	SBBH-SBVT
C06	SBBH	SBPA	2:55	SBBH-SBPA
C07	SBCG	SBBR	2:09	SBCG-SBBR
C08	SBCG	SBSP	1:56	SBCG-SBSP
C09	SBCG	SBSP	1:56	SBCG-SBSP
C10	SBSV	SBRF	1:38	SBSV-SBRF
C11	SBRB	SBRF	6:23	SBRB-SBBR-SBRF
C12	SBRB	SBGR	5:45	SBRB-SBBR-SBGR
C13	SBRB	SBBR	3:46	SBRB-SBBR
C14	SBNT	SBFZ	1:32	SBNT-SBFZ
C15	SBFL	SBSP	1:31	SBFL-SBSP
C16	SBFL	SBCT	1:20	SBFL-SBCT
C17	SBFL	SBSP	1:31	SBFL-SBSP
C18	SBNT	SBFZ	1:32	SBNT-SBFZ
C19	SBNT	SBGR	3:45	SBNT-SBGR
C20	SBSV	SBFZ	2:03	SBSV-SBFZ
C21	SBFZ	SBPA	5:38	SBFZ-SBGR-SBPA
C22	SBFZ	SBTE	1:32	SBFZ-SBTE
C23	SBGO	SBBR	1:07	SBGO-SBBR
C24	SBGO	SBBR	1:07	SBGO-SBBR
C25	SBGO	SBBR	1:07	SBGO-SBBR

5.4. Resultados do Modelo 2

Para a aplicação deste modelo matemático foi utilizada a ferramenta ILOG CPLEX 12.5 (IBM, 2010). Ressalta-se que foi desenvolvido um código em linguagem C para a leitura dos dados de entrada e geração do modelo matemático a ser resolvido. Os dados de entrada do modelo estão disponibilizados em CD anexo a este trabalho.

Como mostrado na Figura 4.2, o Modelo 2 aplica-se para os casos em que há destino possível para o órgão a ser transplantado. Os resultados do Modelo 1 demonstraram que todos os destinos considerados são compatíveis. Dessa forma, o Modelo 2 foi aplicado para todos os casos estudados, com o objetivo de saber se os destinos compatíveis também seriam possíveis, levando-se em consideração não apenas o tempo, mas também os horários dos voos.

Para o Modelo 2, assim como no Modelo 1, considerou-se t_{ij} de 30 minutos para cada decolagem realizada. Assim, assume-se que tanto o tempo de embarque na origem quanto o tempo de parada nos nós são de, no mínimo, 30 minutos.

Primeiramente, considerou-se a aplicação do Modelo 2 com um valor de P , definido na Seção 4.2.2 deste trabalho, igual a zero minutos, ou seja, sem penalização do caminho pela parada do órgão em aeroportos intermediários. Os resultados obtidos foram comparados a casos reais de transportes de órgãos envolvendo diferentes estados brasileiros.

Num segundo momento, considerou-se um P de 30 minutos para trechos em que o caminho mínimo apresentava uma ou mais paradas em aeroportos intermediários. Os resultados da aplicação de um P de 30 minutos foram comparados aos resultados em que P era nulo.

Apesar do acréscimo do valor de P no tempo de deslocamento do Modelo 2, esse valor não representa um tempo real aplicável, tendo sido introduzido com o único propósito de tentar buscar um caminho mínimo utilizando o menor número de paradas possível. Dessa maneira, ao final do cálculo do D_{st} , o valor total de P é subtraído do tempo de deslocamento, gerando assim o tempo verdadeiro de viagem.

Em razão da complexidade do modelo matemático, em algumas situações sua execução foi interrompida antes de se chegar a um resultado ótimo. Adotou-se como padrão um tempo máximo de 10 minutos para a execução do CPLEX, por considerar este um tempo razoável para a execução de uma busca por voos por parte da CNT. Entretanto, acredita-se que em alguns casos o resultado obtido ainda poderia ser melhorado se um tempo maior fosse permitido.

Nas seções que se seguem são apresentados os resultados comparativos da aplicação do Modelo 2 com os casos reais e também em outros destinos compatíveis da rede.

5.4.1. Análise comparativa dos resultados

Na Tabela 5.9, apresenta-se uma comparação entre os resultados do transporte real dos órgãos e os possíveis resultados obtidos com a aplicação do Modelo 2. Em cada caso, foram adotados como destino (t) os mesmos aeroportos considerados nas situações reais da CNT. As colunas da Tabela 5.9 têm os seguintes significados para os casos representados em cada uma das linhas:

- $H_{disponível}$: traz o instante em que o órgão está disponível em s , baseado nas estimativas de tempo descritas na Tabela 5.3;
- Caminho: traz as siglas correspondentes ao caminho percorrido pelo órgão de s até t ;
- T_t : traz o horário estimado em que o órgão chega em t , com base nas informações de horários de partida e duração dos voos, disponíveis em ANAC (2013a);
- D_{st} : traz o tempo de deslocamento desde o instante $H_{disponível}$ até T_t ;
- CIT : traz o tempo de isquemia fria a que o órgão foi supostamente submetido;
- Dif.: representa a diferença de tempo de isquemia fria comparando-se os CIT calculados pelo caminho real do órgão e pela aplicação do Modelo 2.

Tabela 5.9: Análise comparativa entre os casos reais e os resultados do Modelo 2.

Caso	Órgão	$H_{disponível}$	Caminho real				Caminho mínimo (Modelo 2)				Dif.
			Caminho	T_t	D_{st}	CIT	Caminho	T_t	D_{st}	CIT	
C01	Rim	2:42	SBSV-SBBH-SBVT	10:53	8:11	10:31	SBSV-SBGR-SBVT	8:00	5:18	7:38	2:53
C02	Rins	6:50	SBRJ-SBPA	0:32*	17:42	20:02	SBRJ-SBPA	9:28	2:38	4:58	15:03
C03	Rins	9:34	SBFZ-SBRF	19:25	9:51	12:11	SBFZ-SBRF	13:29	3:55	6:15	5:55
C04	Rim	13:35	SBSV-SBGR-SBPA	9:25*	19:50	22:10	SBSV-SBGR-SBPA	18:10	4:35	6:55	15:14
C05	Fígado	2:52	SBBH-SBVT	9:55	7:03	8:43	SBBH-SBVT	8:21	5:29	7:09	1:34
C06	Rins	3:32	SBBH-SBSP-SBPA	10:23	6:51	9:11	SBBH-SBPA	9:07	5:35	7:55	1:15
C07	Fígado	18:45	SBCG-SBBR	F	A	B	SBCG-SBKP-SBBR	0:10*	5:25	7:05	N/A
C08	Coração	18:35	SBCG-SBSP	Particular			Inviável	N/A	N/A	N/A	N/A
C09	Rins	19:25	SBCG-SBSP	Particular			SBCG-SBSP	6:00*	10:35	12:55	N/A
C10	Fígado	2:35	SBSV-SBRF	8:56	6:21	8:01	SBSV-SBRF	7:27	4:52	6:32	1:28
C11	Rim	1:30	SBRB-SBBR-SBRF	10:48	9:18	11:38	SBRB-SBBR-SBRF	10:48	9:18	11:38	0:00
C12	Rim	1:30	SBRB-SBBR-SBGR	10:00	8:30	10:50	SBRB-SBBR-SBGR	9:43	8:13	10:33	0:16
C13	Fígado	0:50	SBRB-SBBR	7:35	6:45	8:25	SBRB-SBBR	7:31	6:41	8:21	0:03
C14	Fígado	4:45	SBNT-SBFZ	11:22	6:37	8:17	SBNT-SBRF-SBFZ	9:24	4:39	6:19	1:58
C15	Rim	16:20	SBFL-SBSP	8:04*	15:44	18:04	SBFL-SBSP	17:55	1:35	3:55	14:08
C16	Rim	16:20	SBFL-SBPA-SBCT	9:07*	16:47	19:07	SBFL-SBSP-SBCT	19:33	3:13	5:33	13:33
C17	Rim	14:05	SBFL-SBSP	7:15*	17:10	19:30	SBFL-SBSP	17:16	3:11	5:31	13:58
C18	Fígado	11:48	SBNT-SBFZ	15:42	3:54	5:34	SBNT-SBFZ	15:31	3:43	5:23	0:10
C19	Fígado	0:53	SBNT-SBGR	7:25	6:32	8:12	SBNT-SBGR	5:15	4:22	6:02	2:10
C20	Fígado	12:55	SBSV-SBNT-SBFZ	17:02	4:07	5:47	SBSV-SBFZ	15:10	2:15	3:55	1:51
C21	Rim	16:50	SBFZ-SBGR-SBPA	12:55*	20:05	22:25	SBFZ-SBGR-SBPA	23:10	6:20	8:40	13:44
C22	Rins	1:50	SBFZ-SBBR-SBTE	23:23*	21:33	23:53	SBFZ-SBTE	6:13	4:23	6:43	17:09
C23	Coração	4:36	SBGO-SBBR	F	A	B	SBGO-SBBR	7:00	2:24	3:54	N/A
C24	Pulmão	4:36	SBGO-SBBR	F	A	B	SBGO-SBBR	7:00	2:24	3:54	N/A
C25	Fígado	4:46	SBGO-SBBR	F	A	B	SBGO-SBBR	7:00	2:14	3:54	N/A

* Esses dados representam horários no dia posterior àquele em que o órgão foi disponibilizado no aeroporto de origem;

N/A: Não aplicável;

FAB: Utilizada aeronave da Força Aérea Brasileira.

Dos 25 casos estudados, pôde-se fazer a comparação dos resultados em 19. Em C07, C23, C24 e C25, o transporte se deu em aeronaves da Força Aérea Brasileira – FAB, e, por isso, não há informações sobre os horários de chegada dos órgãos nos aeroportos de destino (H_t). O mesmo aconteceu para C08 e C09, onde o transporte se deu em aeronaves fretadas de empresas que realizam transporte não regular. Assim, para esses seis casos, não foi possível calcular o D_{st} real e nem o CIT dos órgãos. Sendo assim, as análises se limitaram a determinar a viabilidade do transporte utilizando voos regulares.

Dos seis casos em questão, apenas C08 apresentou-se inviável, uma vez que o deslocamento do aeroporto de Campo Grande para o Aeroporto de Congonhas, nas condições que se apresentaram, seria impraticável, já que o CIT do coração é de apenas quatro horas. Para todos os outros cinco casos o transporte em voos regulares seria possível mantendo o CIT dos órgãos abaixo do seu limite máximo.

No que diz respeito aos outros 19 casos, a análise comparativa dos resultados do Modelo 2 com as situações concretas demonstra que somente em C11 não seria possível minimizar o D_{st} e, conseqüentemente, o CIT dos órgãos, sendo que em C11 o Modelo 2 demonstrou que o caminho e os voos utilizados no caso concreto são os que apresentam os melhores resultados.

Vale destacar que nos casos C08 e C09, bem como em C23, C24 e C25, as doações foram provenientes de doador de múltiplos órgãos e tiveram os mesmos destinos selecionados para os enxertos. Assim, a CNT tomou como base o CIT máximo do coração para tomar a decisão acertada de fretar uma aeronave particular, em C08 e C09, e solicitar o auxílio da FAB, em C23, C24 e C25, mesmo sabendo que alguns órgãos poderiam ser transportados em voos regulares. Nesses casos, optou-se pela garantia de atender a demanda ao invés do risco de se perder órgãos.

Comparando-se todos os 19 casos em que se transportaram órgãos em voos regulares de empresas aéreas, pode-se concluir que a aplicação do método proposto no presente estudo apresentaria um ganho estimado de mais de 122 horas em tempo de isquemia fria. A Tabela 5.10 apresenta uma análise comparativa entre as médias dos tempos de deslocamento e dos CIT sobre todas as situações de transporte de fígados e rins em voos regulares nos casos estudados, tanto com relação aos casos reais quanto com a aplicação do Modelo 2.

A coluna “diferença” traz a subtração do CIT médio obtido como resultado do Modelo 2 pelo CIT médio supostamente obtido nos casos reais, levando-se em

consideração os 19 casos que puderam ser comparados no estudo, separados pelo tipo de órgão, sendo 7 casos de transporte de fígado e 12 casos de transporte de rim.

Percebe-se que a aplicação do Modelo 2 poderia trazer um ganho médio de 1 hora e 19 minutos a menos no *CIT* de cada fígado transportado e de 9 horas e 25 minutos para cada um dos rins. Pelas razões explicitadas nos parágrafos anteriores, os transportes dos outros órgãos, sendo eles o coração e o pulmão, não puderam ser comparados. Não houve casos de transporte de pâncreas neste estudo.

Tabela 5.10: Análise da média de tempos entre os casos reais e o Modelo 2.

Órgão	Nº de casos	Caso real		Modelo 2		Diferença
		Média D_{st}	Média <i>CIT</i>	Média D_{st}	Média <i>CIT</i>	
Fígado	7	05:54	07:34	04:34	06:14	- 01:19
Rim	12	14:17	16:37	04:51	07:11	- 09:25

Cabe, ainda, ressaltar que, no caso C21, o órgão transportado se perdeu durante um transbordo e obrigou a CNT a encontrar um novo voo do aeroporto de parada até seu destino final, devido à perda do voo de conexão, o que fez com que o órgão sofresse um aumento de *CIT* de aproximadamente quatro horas e meia.

5.4.2. Avaliação de possíveis destinos.

Com base nos dados apresentados na Tabela 5.4, pode-se observar que nem sempre o primeiro receptor da lista é efetivamente aquele que recebe o órgão. Segundo informações fornecidas pela CNT, dentre os motivos apontados para a recusa de um órgão por parte da equipe médica transplantadora, estão a logística impraticável e o provável *CIT* elevado a que um órgão pode ser submetido. Ambos os fatores podem ser relacionados ao percurso origem/destino a que o órgão estará sujeito, no que diz respeito à distância, à existência de voos e horários compatíveis com aquele de disponibilidade do órgão.

Tendo em vista que, segundo resultados do Modelo 1, todos os destinos apontados nos casos descritos na Tabela 5.4 são destinos possíveis, buscou-se então aplicar o Modelo 2 para aqueles destinos que teriam prioridade sobre os destinos reais para os quais os órgãos foram transportados em cada caso. Por exemplo, para o caso C01, o destino real do órgão foi o Aeroporto de Vitória (SBVT), a quarta opção em ordem de prioridade. Logo, aplicou-se o Modelo 2 para verificar se haveria a

possibilidade de voos para atender o transporte do órgão para os três primeiros destinos aos quais o órgão não foi alocado, sendo eles os aeroportos de Recife (SBRF), Fortaleza (SBFZ) e Rio de Janeiro (SBRJ).

Quando um órgão é oferecido a um paciente de um determinado estado, esse paciente não necessariamente está localizado na capital. Entretanto, assumiu-se neste estudo que o paciente estaria localizado na capital de cada estado, uma vez que os aeroportos da rede encontram-se nessas cidades, ou bem próximo delas.

Como São Paulo é o único estado que possui mais de um aeroporto na rede trabalhada, e, além disso, é o único estado que não se encontra no sistema informatizado do SNT, para todos os casos em que São Paulo está entre os destinos apontados buscou-se a alocação do órgão transportando-o para cada um dos aeroportos localizados neste estado, sendo eles: Aeroporto de Congonhas (SBSP), Aeroporto de Guarulhos (SBGR), Aeroporto Viracopos (SBKP) e Aeroporto de Ribeirão Preto (SBRP). Assumiu-se, assim, que um órgão destinado a São Paulo poderia ser transportado para qualquer um desses aeroportos.

Dessa forma, na Tabela 5.11 apresentam-se os resultados dessa aplicação a cada caso estudado, considerando-se os destinos dos primeiros pacientes compatíveis das listas de espera.

Tabela 5.11: Análise de possíveis destinos.

Id	Caso	Órgão	$D_{máx}$	$H_{disponível}$	Origem	Destinos	t_{real}	Caminho mínimo	H_t	D_{st}	CIT
1	C01	Rim	33:40	2:42	SBSV	SBRF		SBSV-SBRF	7:27	4:45	7:05
2	C01	Rim	33:40	2:42	SBSV	SBFZ		SBSV-SBRF-SBFZ	9:24	6:42	9:02
3	C01	Rim	33:40	2:42	SBSV	SBRJ		SBSV-SBKP-SBRJ	7:22	4:40	7:00
4	C01	Rim	33:40	2:42	SBSV	SBVT	√	SBSV-SBGR-SBVT	8:00	5:18	7:38
5	C02	Rim	33:40	6:50	SBRJ	SBVT		SBRJ-SBVT	8:23	1:33	3:53
6	C02	Rim	33:40	6:50	SBRJ	SBBH		SBRJ-SBBH	8:18	1:28	3:48
7	C02	Rim	33:40	6:50	SBRJ	SBRF		SBRJ-SBRF	10:21	3:31	5:51
8	C02	Rim	33:40	6:50	SBRJ	SBCT		SBRJ-SBCT	8:18	1:28	3:48
9	C02	Rim	33:40	6:50	SBRJ	SBPA	√	SBRJ-SBPA	9:28	2:38	4:58
10	C03	Rim	33:40	9:34	SBFZ	SBRF	√	SBFZ-SBRF	13:29	3:55	6:15
11	C04	Rim	33:40	13:35	SBSV	SBRF		SBSV-SBRF	15:48	2:13	4:33
12	C04	Rim	33:40	13:35	SBSV	SBFZ		SBSV-SBFZ	15:10	1:35	3:55
13	C04	Rim	33:40	13:35	SBSV	SBPA	√	SBSV-SBGR-SBPA	18:10	4:35	6:55
14	C05	Fígado	10:20	2:52	SBBH	SBVT	√	SBBH-SBVT	8:21	5:29	7:09
15	C06	Rim	33:40	3:32	SBBH	SBRJ		SBBH-SBRJ	7:09	3:37	5:57
16	C06	Rim	33:40	3:32	SBBH	SBVT		SBBH-SBVT	8:21	4:49	7:09

Tabela 5.11: Análise de possíveis destinos (continuação).

Id	Caso	Órgão	$D_{máx}$	$H_{disponível}$	Origem	Destinos	t_{real}	Caminho mínimo	H_t	D_{st}	CIT
17	C06	Rim	33:40	3:32	SBBH	SBPA	√	SBBH-SBPA	9:07	5:35	7:55
18	C07	Fígado	10:20	18:45	SBCG	SBRF		Inviável	N/A	N/A	N/A
19	C07	Fígado	10:20	18:45	SBCG	SBBR	√	SBCG-SBKP-SBBR	0:10*	5:25	7:05
20	C08	Coração	2:30	18:35	SBCG	SBGR		Inviável	N/A	N/A	N/A
21	C08	Coração	2:30	18:35	SBCG	SBKP		SBCG-SBKP	20:33	1:58	3:28
22	C08	Coração	2:30	18:35	SBCG	SBRP		Inviável	N/A	N/A	N/A
23	C08	Coração	2:30	18:35	SBCG	SBSP	√	Inviável	N/A	N/A	N/A
24	C09	Rim	33:40	19:25	SBCG	SBGR		SBCG-SBGR	21:22	1:57	4:17
25	C09	Rim	33:40	19:25	SBCG	SBKP		SBCG-SBKP	12:10*	16:45	19:05
26	C09	Rim	33:40	19:25	SBCG	SBRP		SBCG-SBGR-SBRP	23:16	3:51	6:11
27	C09	Rim	33:40	19:25	SBCG	SBSP	√	SBCG-SBSP	6:00*	10:35	12:55
28	C10	Fígado	10:20	2:35	SBSV	SBRF	√	SBSV-SBRF	7:27	4:52	6:32
29	C11	Rim	33:40	1:30	SBRB	SBRF	√	SBRB-SBBR-SBRF	10:48	9:18	11:38
30	C12	Rim	33:40	1:30	SBRB	SBRF		SBRB-SBBR-SBRF	10:48	9:18	11:38
31	C12	Rim	33:40	1:30	SBRB	SBSP		SBRB-SBBR-SBSP	9:58	8:28	10:48
32	C12	Rim	33:40	1:30	SBRB	SBKP		SBRB-SBBR-SBKP	9:52	8:22	10:42
33	C12	Rim	33:40	1:30	SBRB	SBRP		SBRB-SBBR-SBGR-SBRP	11:57	10:27	12:47
34	C12	Rim	33:40	1:30	SBRB	SBGR	√	SBRB-SBBR-SBGR	9:43	8:13	10:33
35	C13	Fígado	10:20	0:50	SBRB	SBBR	√	SBRB-SBBR	7:31	6:41	8:21
36	C14	Fígado	10:20	4:45	SBNT	SBSV		SBNT-SBRF-SBSV	8:52	4:07	5:47
37	C14	Fígado	10:20	4:45	SBNT	SBRF		SBNT-SBRF	7:22	2:37	4:17
38	C14	Fígado	10:20	4:45	SBNT	SBFZ	√	SBNT-SBRF-SBFZ	9:24	4:39	6:19
39	C15	Rim	33:40	16:20	SBFL	SBGR		SBFL-SBGR	18:10	1:50	4:10
40	C15	Rim	33:40	16:20	SBFL	SBKP		SBFL-SBKP	21:12	4:52	7:12
41	C15	Rim	33:40	16:20	SBFL	SBRP		SBFL-SBSP-SBRP	20:16	3:56	6:16
42	C15	Rim	33:40	16:20	SBFL	SBSP	√	SBFL-SBSP	17:55	1:35	3:55
43	C16	Rim	33:40	16:20	SBFL	SBPA		SBFL-SBPA	18:33	2:13	4:33
44	C16	Rim	33:40	16:20	SBFL	SBCT	√	SBFL-SBSP-SBCT	19:33	3:13	5:33
45	C17	Rim	33:40	14:05	SBFL	SBRF		SBFL-SBGR-SBRF	21:37	7:32	9:52
46	C17	Rim	33:40	14:05	SBFL	SBGR		SBFL-SBGR	16:42	2:37	4:57
47	C17	Rim	33:40	14:05	SBFL	SBKP		SBFL-SBPA-SBKP	21:16	7:11	9:31
48	C17	Rim	33:40	14:05	SBFL	SBRP		SBFL-SBSP-SBRP	20:16	6:11	8:31
49	C17	Rim	33:40	14:05	SBFL	SBSP	√	SBFL-SBSP	17:16	3:11	5:31
50	C18	Fígado	10:20	11:48	SBNT	SBRF		SBNT-SBRF	16:16	4:28	6:08
51	C18	Fígado	10:20	11:48	SBNT	SBFZ	√	SBNT-SBFZ	15:31	3:43	5:23
52	C19	Fígado	10:20	0:53	SBNT	SBSP		SBNT-SBRJ-SBSP	7:31	6:38	8:18
53	C19	Fígado	10:20	0:53	SBNT	SBKP		SBNT-SBKP	5:33	4:40	6:20
54	C19	Fígado	10:20	0:53	SBNT	SBRP		SBNT-SBGR-SBRP	8:52	7:59	9:39
55	C19	Fígado	10:20	0:53	SBNT	SBGR	√	SBNT-SBGR	5:15	4:22	6:02
56	C20	Fígado	10:20	12:55	SBSV	SBFZ	√	SBSV-SBFZ	15:10	2:15	3:55
57	C21	Rim	33:40	16:50	SBFZ	SBSV		SBFZ-SBRF-SBSV	20:49	3:59	6:19
58	C21	Rim	33:40	16:50	SBFZ	SBMO		SBFZ-SBRF-SBMO	20:42	3:52	6:12
59	C21	Rim	33:40	16:50	SBFZ	SBPA	√	SBFZ-SBGR-SBPA	23:10	6:20	8:40
60	C22	Rim	33:40	1:50	SBFZ	SBSV		SBFZ-SBNT-SBSV	6:04	4:14	6:34

Tabela 5.11: Análise de possíveis destinos (continuação).

Id	Caso	Órgão	$D_{máx}$	$H_{disponível}$	Origem	Destinos	t_{real}	Caminho mínimo	H_t	D_{st}	CIT
61	C22	Rim	33:40	1:50	SBFZ	SBMO		SBFZ-SBNT-SBRF-SBMO	8:40	6:50	9:10
62	C22	Rim	33:40	1:50	SBFZ	SBJP		SBFZ-SBNT-SBSV-SBMO-SBJP	11:00	9:10	11:30
63	C22	Rim	33:40	1:50	SBFZ	SBRF		SBFZ-SBNT-SBRF	7:22	5:32	7:52
64	C22	Rim	33:40	1:50	SBFZ	SBNT		SBFZ-SBNT	3:10	1:20	3:40
65	C22	Rim	33:40	1:50	SBFZ	SBTE	√	SBFZ-SBTE	6:13	4:23	6:43
66	C23	Coração	2:30	4:36	SBGO	SBBR	√	SBGO-SBBR	7:00	2:24	3:54
67	C24	Pulmão	4:30	4:36	SBGO	SBBR	√	SBGO-SBBR	7:00	2:24	3:54
68	C25	Fígado	10:20	4:46	SBGO	SBBR	√	SBGO-SBBR	7:00	2:14	3:54

* Esses dados representam horários no dia posterior àquele em que o órgão foi disponibilizado no aeroporto de origem;

Abaixo, segue a análise sucinta de cada uma das 68 situações expostas na Tabela 5.11:

- Caso C01 (órgão: rim; origem: SBSV):

Quatro destinos foram analisados, Recife, Fortaleza, Rio de Janeiro e Vitória, todos eles considerados factíveis. O CIT do órgão variou de 7 horas a pouco mais de 9 horas, com T_d de 4:40 a 6:42 horas.

- Caso C02 (órgão: rim; origem: SBRJ):

Foram considerados os possíveis destinos: Vitória, Belo Horizonte, Recife, Curitiba e Porto Alegre. Todos os destinos eram factíveis. O CIT para o rim variou de 3:48 a 5:41 horas e o T_d de 1:28 a 3:31 horas.

- Caso C03 (órgão: rim; origem: SBFZ):

Este órgão com origem em Fortaleza foi transportado para o destino prioritário e, portanto, não foram considerados outros destinos. O CIT do órgão foi de 6:15 horas e o T_d de 3:55 horas.

- Caso C04 (órgão: rim; origem: SBSV):

Foram considerados três destinos, dois na mesma região de transplante (Recife e Fortaleza) e um na Região I (Porto Alegre). O CIT do órgão variou de 3:55 a 6:55 horas, com T_d de 1:35 a 4:35 horas.

- Caso C05 (órgão: fígado; origem: SBBH):

Apenas o destino real foi considerado para o transporte do fígado. O CIT do órgão pelo Modelo foi de pouco mais de 7 horas e o deslocamento de aproximadamente 5 horas e meia.

- Caso C06 (órgão: rim; origem: SBBH):

Os três destinos analisados se mostraram factíveis: Rio de Janeiro, Vitória e Porto Alegre. A variação do T_d foi de 3:37 a 5:35 horas, enquanto a do *CIT* foi de 5:57 a 7:55 horas.

- Caso C07 (órgão: fígado; origem: SBCG):

Além do destino real desse órgão com origem em Campo Grande, que foi Brasília, apenas o destino Recife foi considerado. O Modelo não encontrou solução factível para transportar o fígado de Campo Grande para Recife mantendo o *CIT* dentro do seu limite. Assim, foi simulado o transporte do órgão para Brasília, o qual gerou um *CIT* de 7 horas e 5 minutos, com um T_d de 5 horas e 25 minutos.

- Caso C08 (órgão: coração; origem: SBCG):

Apenas os destinos no estado de São Paulo foram considerados para o transporte desse órgão. Em razão do curto tempo de isquemia máximo do coração, somente um aeroporto poderia ser considerado para o transporte do órgão. O deslocamento entre Campo Grande e Campinas, dadas as condições, apresentou um T_d de 1 hora e 58 minutos, com um *CIT* de 3 horas e 28 minutos. Seria impraticável o transporte do órgão para Congonhas, Guarulhos ou Ribeirão Preto.

Os resultados desse caso mostram que, apesar do órgão ter sido transportado de fato em aeronave da FAB, seria possível transportá-lo em voo regular para o Aeroporto de Viracopos, em Campinas.

- Caso C09 (órgão: rim; origem: SBCG):

Apesar do transporte real nesse caso se tratar do mesmo transporte do caso C08 devido a ser uma doação de múltiplos órgãos, optou-se por realizar a análise da viabilidade separada.

Consideraram-se os quatro aeroportos de São Paulo como viáveis para o transporte do órgão. Os maiores T_d e *CIT* foram apresentados para o destino Campinas (16:45 e 19:05, respectivamente), enquanto os menores foram para Guarulhos (1:57 e 4:17, respectivamente).

- Caso C10 (órgão: fígado; origem: SBSV):

Apenas o destino real foi considerado. O T_d foi de 4:52 horas e o *CIT* foi de 6:32 horas.

- Caso C11 (órgão: rim; origem: SBRB):

Somente Recife foi considerado, com um T_d de 9:18 horas e um *CIT* de 11:38 horas.

- Caso C12 (órgão: rim; origem: SBRB):

Cinco destinos foram considerados factíveis para esse órgão com origem em Rio Branco, sendo eles Recife e os quatro aeroportos do estado de São Paulo. A variação do T_d foi de 8:13 a 10:27 horas, enquanto a do *CIT* foi de 10:33 a 12:47 horas.

- Caso C13 (órgão: fígado; origem: SBRB):

Somente o destino real, Brasília, foi analisado. O T_d foi de 6:41 horase o *CIT* foi de 8:21 horas.

- Caso C14 (órgão: fígado; origem: SBNT):

Foram analisados três destinos na região nordeste, Salvador, Recife e Fortaleza, e todos foram considerados factíveis. A variação do T_d foi de 2:37 a 4:39 horase a do *CIT* foi de 4:17 a 6:19 horas.

- Caso C15 (órgão: rim; origem: SBFL):

Foram considerados os quatro destinos do estado de São Paulo. O T_d variou de 1:35 a 4:52 horas. Já o *CIT* variou de 3:55 a 4:10 horas.

- Caso C16 (órgão: fígado; origem: SBFL):

O transporte desse órgão ficou limitado aos estados da região Sul. O *CIT* variou de 4:33 a 5:33 horas e o T_d de 2:13 a 3:13 horas.

- Caso C17 (órgão: rim; origem: SBFL):

Além de Recife, foram considerados os destinos no estado de São Paulo, com todos sendo factíveis. O T_d foi de 2:37 a 7:32 horas com o *CIT* de 4:57 a 9:52 horas e.

- Caso C18 (órgão: fígado; origem: SBNT):

Além de Fortaleza, que foi o destino real do órgão, Recife também foi considerado como um destino factível. O T_d foi de 3:43 a 4:28 horas e o *CIT* variou de 5:23 a 6:08 horas.

- Caso C19 (órgão: fígado; origem: SBNT):

Foram considerados os quatro aeroportos de São Paulo para o transporte desse fígado. O T_d ficou entre 4:22 horas, para Guarulhos, e 7:59 horas, para o destino Ribeirão Preto. O *CIT* variou de 6:02 a 9:39 horas, para esses aeroportos.

- Caso C20 (órgão: fígado; origem: SBSV):

Somente o destino real, Fortaleza, foi analisado. O T_d foi de 2:15 horas e o *CIT* de 3:55 horas.

- Caso C21 (órgão: rim; origem: SBFZ):

Além do destino real, Porto Alegre, foram considerados os destinos Salvador e Maceió. O T_d variou de pouco de menos de 4 horas para os destinos no Nordeste a 6:20 horas em Porto Alegre. O CIT foi de 6:12 a 8:40 horas.

- Caso C22 (órgão: rim; origem: SBFZ):

Foram considerados seis destinos para o transporte do rim, todos na região Nordeste do país, sendo todos factíveis, apesar do grande número de transbordos para alguns deles. O T_d foi de apenas 1:20 horas, para Natal, a 9:10 horas, para João Pessoa. Já o CIT variou de 3:40 a 11:30 horas.

- Casos C23, C24 e C25 (órgãos: coração, pulmão e fígado; origem: SBGO):

Esses três casos trataram de uma doação de múltiplos órgãos entre um mesmo par de origem e destino. Somente foi analisado o destino real, Brasília, para o deslocamento. A melhor rota e os melhores voos seriam os mesmos para ambos os órgãos. O T_d para o coração e o pulmão seria de 2 horas e 24 minutos, enquanto para o fígado seria de 10 minutos a menos, tendo em vista que, em teoria, pelos cálculos considerados, esse órgão só poderia estar disponível no aeroporto de origem 10 minutos após os outros. O CIT para todos os órgãos seria de 3 horas e 54 minutos, uma vez que leva em consideração o horário de clampeamento, que é um só.

Como exposto na Seção 5.2, não foi possível saber os reais motivos pelos quais os primeiros pacientes das listas de espera nem sempre foram aqueles que efetivamente receberam o órgão, porém, pela análise dos resultados expostos em cada cenário descrito na Tabela 5.11, pode-se concluir que, para os casos estudados, a viabilidade logística de voos somente seria um problema em 6% das ocasiões, ou 4 situações em 68 consideradas, sendo que, mesmo para os casos C07 e C08 que apresentaram impossibilidades do órgão ser transportado para alguns dos destinos, os resultados demonstraram que ao menos um destino daqueles considerados seria viável. Ou seja, em 64 das 68 situações trabalhadas seria possível transportar o órgão entre os aeroportos de origem e destino mantendo seu CIT dentro do limite máximo estabelecido e em nenhum dos casos o órgão seria perdido sem que um destino fosse possível.

Com relação à aplicação de P , definido na Seção 4.2.2, a Tabela 5.12 traz os resultados comparativos entre o cenário sem penalidade e o cenário com penalidade por cada parada em aeroportos que não o de destino. Dentre as comparações, estão somente aquelas em que a aplicação de P igual a 30 minutos trouxe um resultado diferente daquele apresentado quando o valor de P era nulo. O teste com P foi realizado em todas

as situações enumeradas na Tabela 5.11 onde o resultado apontado pelo Modelo 2 trouxe um caminho mínimo com uma ou mais paradas.

Tabela 5.12: Comparação de resultados considerando penalidade por parada.

Id	Caso	Órgão	Origem	Destino	Considerando $P = 0$			Considerando $P = 30min$				
					Caminho	H_t	D_{st}	CIT	Caminho	H_t	D_{st}	CIT
3	C01	Rim	SBSV	SBRJ	SBSV-SBKP-SBRJ	7:22	4:40	7:00	SBSV-SBRJ	7:22	4:40	7:00
61	C22	Rim	SBFZ	SBMO	SBFZ-SBNT-SBRF-SBMO	8:40	6:50	9:10	SBFZ-SBGR-SBMO	8:57	7:07	9:27
62	C22	Rim	SBFZ	SBJP	SBFZ-SBNT-SBSV-SBMO-SBJP	11:00	9:10	11:30	SBFZ-SBRJ-SBJP	11:00	9:10	11:30

Pode-se concluir pela análise da Tabela 5.12 que em apenas três situações a alteração do valor de P trouxe diferenças nos resultados, ainda sendo possível o transporte dos órgãos mantendo o CIT dentro de seu limite máximo.

Na situação relacionada ao caso C01, a aplicação de P eliminou a parada existente no Aeroporto de Viracopos e trouxe um caminho direto entre Salvador e o Rio de Janeiro tão bom quanto aquele apresentado pelo modelo sem a aplicação da penalidade.

Com relação ao caso C22, pôde-se observar que o caminho para o Aeroporto de Maceió foi reduzido de duas paradas para apenas uma, saindo de Fortaleza, passando por Guarulhos e chegando a Maceió com apenas 17 minutos de acréscimo no tempo de deslocamento. Já o caminho para o destino João Pessoa trouxe resultados ainda mais significativos, reduzindo de três paradas para somente uma na cidade do Rio de Janeiro, sendo possível realizar o trajeto com o mesmo tempo de deslocamento de 9 horas e 10 minutos até seu destino final.

A redução no número de paradas em aeroportos intermediários, seja para a realização de uma escala ou de uma conexão, pode significar um menor risco para a saúde do órgão, uma vez que este pode ser perdido por uma falha no sistema ou ainda por um atraso que pode ocasionar a perda de um voo subsequente e um resultante aumento do CIT (SEGEV et al., 2005; STEWART et al., 2012).

5.5. Considerações finais

No presente capítulo, apresentou-se a aplicação dos modelos desenvolvidos neste estudo para a definição dos melhores caminhos para o transporte de órgãos para transplante. Foi definida a rede de aeroportos e de voos presentes no estudo e foram

definidos os dados a serem coletados bem como aqueles que são calculados com base nos dados que são coletados.

Aplicou-se o Modelo 1, que define a compatibilidade entre pares de origens e destinos para o transporte de órgãos. Concluiu-se que, dados os destinos propostos, para os 25 casos estudados, definidos de acordo com os critérios estabelecidos para alocação de órgãos do MINISTÉRIO DA SAÚDE (2009), todos os deslocamentos entre os pares de aeroportos seriam compatíveis. Por isso, aplicou-se o Modelo 2 com o objetivo de concluir sobre a possibilidade e a viabilidade ou não do transporte, considerando os horários e tempos de cada evento que restringem o Modelo.

Foram então apresentados os resultados da aplicação do Modelo 2, que demonstraram que em apenas um dos casos o transporte entre origem e destino utilizando voos regulares seria inviável. Pela comparação dos resultados reais com os resultados apresentados pelo Modelo 2, em 19 casos em que o transporte se deu em voos regulares, concluiu-se que haveria um ganho médio em tempo de isquemia fria de mais de uma hora para os casos de transporte de fígado e mais de nove horas para os transportes de rim.

Por fim, foram analisados outros possíveis destinos considerados prioritários no processo de alocação dos órgãos disponibilizados nos casos estudados, primeiramente sem a aplicação de penalidades por paradas em aeroportos intermediários entre o de origem e o de destino, e depois com a aplicação dessa penalidade. Concluiu-se que de 68 possíveis pares de origem e destino analisados o transporte em voos regulares seria viável em 64 situações, sendo que em três ocasiões seria possível ainda reduzir o número de paradas evitando possíveis manipulações excessivas do órgão e o risco de perda do mesmo.

6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Com base no exposto nesta dissertação, pode-se concluir que a pesquisa alcançou os objetivos iniciais de elaborar modelos matemáticos baseados no problema do caminho mínimo para escolha dos melhores voos a serem utilizados para se transportar órgãos. A matriz de compatibilidade foi traçada e os resultados da aplicação dos modelos de acordo com o fluxo proposto foram apresentados e comparados com os casos reais.

O método para a escolha dos melhores caminhos para o transporte de órgãos para transplante proposto no presente trabalho demonstrou que é viável a utilização de voos regulares domésticos na maioria dos casos estudados, o que representa uma grande economia de custos de fretamento de aeronaves particulares para a realização desses serviços.

Além disso, pôde-se perceber que a aplicação da modelagem matemática na escolha dos melhores voos a serem tomados para a execução do transporte trouxe um ganho em horas de isquemia fria dos órgãos, o que pode ter um impacto positivo nos resultados pós-transplante, refletindo em uma melhor qualidade dos transplantes realizados e na sobrevivência dos enxertos compartilhados entre diferentes estados do território nacional.

Respondendo às perguntas do problema de pesquisa, mostrou-se uma maneira de avaliar a compatibilidade entre pares de origem e destino para evitar o desperdício de tempo em busca por voos para pares incompatíveis e mostrou-se um método para se definir a melhor sequência de voos a serem utilizados num transporte de órgão, tal que este órgão chegue ao aeroporto de destino no menor tempo possível. Dessa forma, conclui-se que o presente estudo agrega valor ao transporte de órgãos para transplantes utilizando-se voos regulares domésticos no Brasil.

Cabe destacar que, em razão da complexidade do Modelo 2 e da limitação da ferramenta utilizada, o CPLEX foi aplicado por um tempo reduzido em alguns casos, não necessariamente chegando ao resultado ótimo. Destaca-se que para alguns casos, o CPLEX tentou resolver o problema por mais de duas horas e não encontrou a solução ótima do problema. Sendo assim, verifica-se que outras técnicas de solução, como métodos exatos e heurísticos, desenvolvidos especificamente para o problema abordado nesta dissertação, podem permitir reduções ainda maiores no *CIT* a que os órgãos

transportados ficariam expostos, trazendo um ganho significativo em qualidade de vida dos órgãos e de seus receptores.

A limitação de *software* também gera um impacto no tamanho da rede de aeroportos considerada. A utilização de ferramentas ou técnicas mais adequadas permitiria o aumento do número de aeroportos e, conseqüentemente, de voos, o que poderia trazer mais opções de caminhos a serem consideradas para o transporte dos órgãos.

O estabelecimento de um tempo padrão para os transportes hospital/aeroporto e aeroporto/hospital também poderia ser melhorado pelo cálculo dos tempos reais entre cada hospital transplantador autorizado e os aeroportos mais próximos, podendo, ainda, ser considerados os horários do dia e as condições de trânsito correspondente a cada período.

Como sugestão para trabalhos futuros, considera-se relevante a questão dos riscos envolvidos nos deslocamentos com número elevado de paradas, uma vez que STEWART *et al.* (2012) apontaram que grande parte dos casos de perda ou quase perda de órgãos deve-se a falhas humanas ou sistêmicas. Como descrito na Seção 5.4.1, no período em que eram realizadas as pesquisas para este estudo, um órgão foi perdido e posteriormente encontrado, o que levou a CNT a ter que encontrar um novo voo do aeroporto de parada até o destino final. Tal fato aumentou o *CIT* em aproximadamente quatro horas e meia, arriscando não apenas a qualidade dos resultados pós-operatórios mas também a vida do órgão e de seu receptor. Assim, sugere-se a busca por caminhos com o menor número possível de paradas como um estudo a ser considerado.

Além disso, é importante ressaltar que nem sempre o menor caminho entre um par origem/destino é efetivamente possível, dados fatores imprevisíveis, como as condições meteorológicas nos aeroportos envolvidos e o conseqüente tráfego aéreo decorrente desses fatores. Logo, sugere-se também que seja estudada a aplicação de múltiplos caminhos mínimos para o transporte de órgãos que obedeçam às restrições estabelecidas para esse tipo de deslocamento e a análise de risco na escolha de um caminho ou de outro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABTO – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TRANSPLANTE DE ÓRGÃOS. Diretrizes Básicas para captação e retirada de múltiplos órgãos e tecidos. São Paulo, 2009.

_____. Registro Brasileiro de Transplantes – Ano XVI – nº 4 - Jan/Dez 2010.

_____. Entenda a doação de órgãos: decida-se pela vida. In: <http://www.abto.org.br/abtov03/Upload/file/entendadoacao.pdf>. Acesso em mar. 2012.

_____. Registro Brasileiro de Transplantes – Ano XIX – nº 3 - Jan/Set 2013. In: <http://www.abto.org.br/>.

ANAC - AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. Voos Autorizados (HOTRAN). In: <http://www2.anac.gov.br/voosautorizados/>. Publicado em 30 set. 2009.

_____. Voos Autorizados Vigentes (HOTRAN). In: <http://www2.anac.gov.br/hotran/>. Acesso em set. 2013a.

_____. Anuário Estatístico do Transporte Aéreo. Dados Estatísticos e Econômicos de 2012. Brasília, 2013b.

ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução – RDC nº 66, de 21 de dezembro de 2009. Dispõe sobre o transporte no território nacional de órgãos humanos em hipotermia para fins de transplante. Diário Oficial da União, Brasília, 23 dez. 2009.

ASDERAKIS, A., DYER, P., AUGUSTINE, T., WORTHINGTON, J., CAMPBELL, B., JOHNSON, R. W. Effect of cold ischemic time and HLA matching in kidneys coming from " young" and " old" donors: do not leave for tomorrow what you can do tonight. *Transplantation*, 72(4), 2001. p 674-678.

AYDIN, U., YAZICI, P., KAZIMI, C., BOZOKLAR, A., SOZBILEN, M., ZEYTUNLU, M., KILIC, M. Simultaneous air transportation of the harvested heart and visceral organs for transplantation. *Transplantation proceedings*, Vol. 40, No. 1. Elsevier, 2008. p 44-46.

BAPTISTA-SILVA, J. C. C. Transplante renal. In: *Angiologia e cirurgia vascular: guia ilustrado*. UNCISAL/ECMAL & LAVA. Maceió, 2003. Disponível em URL: <http://www.lava.med.br/livro>.

BEKER, I., JEVTIĆ, V., DOBRILLOVIĆ, D. Shortest-path algorithms as a tools for inner transportation optimization. *Int. J. Ind. Eng. and Management*, v. 3, 2012, p. 39-45.

BELFIORE, P., FÁVERO, L. P. Pesquisa Operacional para Cursos de Administração, Contabilidade e Economia. Elsevier Brasil, 2012.

BELIËN, J., DE BOECK, L., COLPAERT, J., DEVESSE, S., VAN DEN BOSSCHE, F. Optimizing the facility location design of organ transplant centers. *Decision Support Systems*, 54(4), 2013. p 1568-1579.

BELZER, F. O., ASHBY, B. S., DUNPHY, J. E. 24-hour and 72-hour preservation of canine kidneys. *The Lancet*, v 290, n. 7515, 1967. p 536-539.

BERGAMO, G. Perda e angústia. *Revista Veja*. São Paulo, 2005. In: <http://vejaabril.com.br/>. Acesso em set. 2012.

BOAVENTURA NETTO, P. O., JURKIEWICZ, S. Grafos: introdução e prática. Editora Edgard Blücher, São Paulo, 2009.

BRASIL. Decreto nº 2.268, de 30 de junho de 1997. Regulamenta a Lei nº 9.434, de 4 de fevereiro de

1997, que dispõe sobre a remoção de órgãos, tecidos e partes do corpo humano para fins de transplante e tratamento, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 1 jul. 1997a.

_____. Lei nº 9.434, de 4 de fevereiro de 1997. Dispõe sobre a remoção de órgãos, tecidos e partes do corpo humano para fins de transplante e tratamento e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 5 fev. 1997b.

_____. Lei nº 10.211, de 23 de março de 2001. Altera dispositivos da Lei nº 9.434, de 4 de fevereiro de 1997, que “dispõe sobre a remoção de órgãos, tecidos e partes do corpo humano para fins de transplante e tratamento”. Diário Oficial da União, Brasília, 24 mar. 2001.

BROCKMANN, J. G., VAIDYA, A., REDDY, S., FRIEND, P. J. Retrieval of abdominal organs for transplantation. *British journal of surgery*, 93(2), 2006. p 133-146.

BRUNI, M. E., CONFORTI, D., SICILIA, N., TROTTA, S. A new organ transplantation location-allocation policy: a case study of Italy. *Health care management science*, 9(2), 2006. p 125-142.

BUTT, F. K., GRITSCH, H. A., SCHULAM, P., DANOVITCH, G. M., WILKINSON, A., DEL PIZZO, J., KAPUR, S., SERUR, D., KATZNELSON, S., BUSQUE, S., MELCHER, M. L., MCGUIRE, S., CHARLTON, M., HIL, G., VEALE, J. L. Asynchronous, Out-of-Sequence, Transcontinental Chain Kidney Transplantation: A Novel Concept. *American Journal of Transplantation*, 9(9), 2009. p 2180-2185.

ÇAY, P. Organ transplantation logistics: case for Turkey. Tese de Doutorado. Bilkent University, 2012.

CHEN, H. K. Comparisons of yen's and a modified generaltzed Floyd k-shortest path algorithms. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 3(6), 1999.

COLL, E. El modelo español de coordinación y trasplantes (2ª Ed.) – Capítulo 5.2 – La labor de la oficina central de la ONT – Criterios de distribución. *Aula Médica*, 2008. p 67-76

COLLINS, G. M., BRAVO-SHUGARMAN, M., TERASAKI, P. I. Kidney preservation for transportation: Initial perfusion and 30 hours' ice storage. *The Lancet*, 294(7632), 1969. p 1219-1222.

CONSEJO DE EUROPA. International Figures on Donation and Transplantation –2011– Council of Europe. *Newsletter Transplant*. 17(1), 2012.

_____. International Figures on Donation and Transplantation –2012– Council of Europe. *Newsletter Transplant*. 18(1), 2013.

DECEA - DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO. Portaria nº113/SDOP, de 18 de novembro de 2013. Aprova a edição da Instrução do Comando da Aeronáutica que regulamenta os "Serviços de Tráfego Aéreo". ICA 100-37. *Boletim do Comando da Aeronáutica*, nº 228. Brasília, 28 nov.2013.

DIJKSTRA, E. A note on two problems in connection with graphs. *Numerische Mathematic*, 1959. p 269-271.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Distância entre cidades. Disponível em: www1.dnit.gov.br/rodovias/distancias/distancias.asp. Acesso em 27 fev. 2014.

ELGUETA, S., FUENTES, C., ARENAS, A., LABRAÑA, C., GAJARDO, J. G., LOPEZ, M., HERNANDEZ, J., RODRIGUEZ, H., RODRIGUEZ, L. Evaluation of the stages involved in cold ischemia time in renal transplants in Chile. *Transplantation proceedings*, Vol. 42, No. 1. Elsevier, 2010. p 248-249.

ESPANHA. Real Decreto 1301/2006, de 10 de novembro de 2006. 19625. Ministerio de Sanidad y Consumo. In: BOE num 270 de 11/11/2006. p 39475 a 39502.

EUROTRANSPLANT. In: www.eurotransplant.org. Acesso em dez. 2013.

FILIPPONI, F., DE SIMONE, P. Interregional Allocation Models for Liver Transplantation. *Transplantation Proceedings*, Vol.41(4), Elsevier. 2009. p 1081-1083.

FILIPPONI, F., DE SIMONE, P., MOSCA, F. Appraisal of the coordinator-based transplant organizational model. *Transplantation proceedings*, Vol. 37, No. 6. Elsevier, 2005. p 2421-2422.

FILIPPONI, F., DE SIMONE, P., ROSSI, E. The Tuscany model of a regional transplantation service authority: Organizzazione Toscana Trapianti. *Transplantation proceedings*, Vol. 39, No. 10. Elsevier, 2007. p 2953-2960.

FLOYD, R. W. Algorithm 97: shortest path. *Communications of the ACM*, v. 5, n. 6, p. 345, 1962.

FUZZATI, R. Organ Transplantation Management. EPFL Technical Report IC/2005/022, Swiss Federal Institute of Technology Lausanne – EPFL, Lausanne, Switzerland, 2005.

GEISBERGER, R. Advanced route planning in transportation networks. Tese de Doutorado. PhD thesis, Karlsruhe Institute of Technology. 2011.

GENÇ, R. The logistics management and coordination in procurement phase of organ transplantation. *Tohoku journal of experimental medicine*, 216(4), 2008.

GOLDBARG, M. C., Luna, H. P. L. Otimização combinatória e programação linear: modelos e algoritmos. Elsevier, 2005.

GOOI, J. H., SHARPLES, L., GOLDSMITH, K., JENKINS, D., DHITAL, K., LARGE, S., TSUI, S. The potential impact of reducing cold ischaemic time on cardiac transplant survival. *The Journal of Heart and Lung Transplantation*, 26(2), 2007. p 63-S64.

GRUPO PUNTA CANA. In: www.grupopuntacana.org. Acesso em dez.2013

HEINZEN, E. Central Nacional de Transplantes e Desafios na Alocação de Órgãos e Tecidos - Apresentação. I Fórum de Logística para Distribuição de Órgãos e Tecidos para Transplante no Brasil. Ministério da Saúde, Pirenópolis, GO, 24 e 25 out. 2013.

HILLIER, F. S., LIEBERMAN, G. J. Introduction to operations research. Tata McGraw-Hill Education. 2001.

HOSPITAL ISRAELITA ALBERT EINSTEIN. Curso Prático de Extração, Perfusão e Acondicionamento de Múltiplos Órgãos para Transplante. São Paulo, 2010.

HRSA – HEALTH RESOURCES AND SERVICES ADMINISTRATION. United States Organ Transplantation – OPTN & SRTR Annual Data Report 2011. U.S. Department of Health and Human Services. 2012.

IBM. ILOG CPLEX. IBM Software Group. User-Manual CPLEX, v. 12, 2011.

JARIYASUNANT, J., MAI, E., SENGUPTA, R. Algorithm for Finding Optimal Paths in a Public Transit Network with Real-Time Data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2256(1), 2011, p 34-42.

KLEIN, A. S., MESSERSMITH, E. E., RATNER, L. E., KOCHIK, R., BALIGA, P. K., OJO, A. O.

Organ donation and utilization in the United States, 1999–2008. *American Journal of Transplantation*, 10(4p2), 2010. p 973-986.

KONG, N., SCHECHTER, S., SCHAEFER, A., STAHL, J. E. Organ transplantation regions: the need for optimization. *Estados Unidos*, 2002.

KONING, O. H., PLOEG, R. J., VAN BOCKEL, J. H., GROENEWEGEN, M., VAN DER WOUDE, F. J., PERSIJN, G. G., HERMANS, J. Risk factors for delayed graft function in cadaveric kidney transplantation: A Prospective Study of Renal Function and Graft Survival after Preservation with University of Wisconsin Solution in Multi-Organ Donors. *Transplantation*, 63(11), 1997. p 1620-1628.

LINDO. *Whats Best! Version 12.0 User's Manual*. LINDO Systems Inc. Illinois, USA, 2013.

LUDOVICO, N. *Logística de Transportes Internacionais*. São Paulo: Saraiva, v. 3, 2000.

MARINHO, A., CARDOSO, S. S., DE ALMEIDA, V. V. Disparidades nas filas para transplantes de órgãos nos estados brasileiros. *Cad. Saúde Pública*, 26(4), 2010. p 786-796.

MARINHO, A. Um estudo sobre as filas para transplantes no Sistema Único de Saúde brasileiro. *Cad. Saúde Pública*, 22(10), 2006. p 2229-2239.

MARTÍN, S., MARTÍNEZ, I., URUÑUELA, D. *El modelo español de coordinación y trasplantes (2ª Ed.) – Capítulo 5.1 - El papel de la enfermería en la Oficina Central de la ONT*. Aula Médica, 2008. p 61-66 (65)

MATESANZ, R., DOMÍNGUEZ-GIL, B., COLL, E., DE LA ROSA, G., MARAZUELA, R. Spanish experience as a leading country: what kind of measures were taken?. *Transplant International*, 24(4), 2011. p 333-343.

MATESANZ, R., DOMINGUEZ-GIL, B. Strategies to optimize deceased organ donation. *Transplantation Reviews*, 21(4), 2007. p 177-188.

MATESANZ, R. Factors influencing the adaptation of the Spanish Model of organ donation. *Transplant International*, 16(10), 2003. p 736-741.

MEDINA-PESTANA, J. O., VAZ, M. L., PARK, S. I., GARCIA, V. D., ABBUD-FILHO, M., CAMPOS, H. Organ transplantation in Brazil in the year 2002. *Transplantation proceedings*, Vol. 36, No. 4. Elsevier, 2004. p 799-801.

MELCHER, M. L., LEESER, D. B., GRITSCH, H. A., MILNER, J., KAPUR, S., BUSQUE, S., ROBERTS, J. P., KATZNELSON, S., BRY, W., YANG, H., LU, A., MULGAONKAR, S., DANOVITCH, G. M., HIL, G., VEALE, J. L. Chain transplantation: Initial experience of a large multicenter program. *American Journal of Transplantation*, 12(9), 2012. p 2429-2436.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 91/GM. Em 23 de janeiro de 2001. *Diário Oficial da União*, Brasília, 23 jan. 2001.

_____. Portaria nº 1.752, de 23 de setembro de 2005. Determina a constituição de Comissão Intra-Hospitalar de Doação de Órgãos e Tecidos para Transplante em todos os hospitais públicos, privados e filantrópicos com mais de 80 leitos. *Diário Oficial da União*, Brasília, 27 set. 2005.

_____. Acordo de Cooperação Técnica que entre si celebram a União, por intermédio do Ministério da Saúde, e as empresas aéreas representadas pelo Sindicato Nacional das Empresas Aeroviárias - SNEA. *Diário Oficial da União*, Brasília, 3 nov. 2009a.

_____. Portaria nº 2.601, de 21 de outubro de 2009. Institui, no âmbito do Sistema Nacional de Transplantes, o Plano Nacional de Implantação de Organizações de Procura de Órgãos e Tecidos – OPO.

Diário Oficial da União, Brasília, 30 out. 2009b.

_____. Portaria nº 2.602, de 21 de outubro de 2009. Institui, no âmbito do Sistema Nacional de Transplantes, o Selo “Organização Parceira do Transplante” e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 30 out. 2009c.

_____. Portaria nº 2.619, de 21 de outubro de 2009. Concede à empresa TAM LINHAS AÉREAS S/A o Selo “Organização Parceira do Transplante”, pelo relevante serviço prestado no transporte aéreo gratuito de órgãos, tecidos ou partes do corpo humano para fins de transplantes. Diário Oficial da União, Brasília, 30 out. 2009d.

_____. Dúvidas mais frequentes sobre transplante. In: <http://dtr2001.saude.gov.br/sas/dsra/duvidas.htm>. Acesso em fev. 2012.

_____. Extrato de Acordo de Cooperação Técnica nº 2/2013. Diário Oficial da União, Brasília, 9 dez. 2013.

_____. Portal Transplantes. In: <http://aplicacao.saude.gov.br/>. Acesso em jan. 2014.

MONTEIRO, V. L. Aplicação de técnicas do lean thinking às atividades logísticas dos transplantes de órgãos sólidos. Dissertação de Mestrado, 2011.

MONTGOMERY, R. A., KATZNELSON, S., BRY, W. I., ZACHARY, A. A., HOUP, J., HILLER, J. M., SHRIDHARANI, S., HOHN, D., SINGER, A. L. SEGEV, D. L. Successful Three-Way Kidney Paired Donation with Cross-Country Live Donor Allograft Transport. *American Journal of Transplantation*, 8(10), 2008. p 2163-2168.

MORENO, A., VALLS, A., RIBES, A. Finding efficient organ transport routes using multi-agent systems. Proceedings of the IEEE 3rd International Workshop on Enterprise Networking and Computing in Health Care Industry (Healthcom). L'Aquila, Itália, 2001.

NUNES, E. E. F. Análise dos processos logísticos no transplante de órgãos: acondicionamento, deslocamento de equipes e previsão de demanda. Relatório Final. UNICAMP, 2010.

OPTN - ORGAN PROCUREMENT AND TRANSPLANTATION NETWORK. Policies, effective date 02/01/14. U.S. Department of Health and Human Services. In: <http://optn.transplant.hrsa.gov/policiesAndBylaws/policies.asp>. Acesso em fev. 2014.

PRADHAN, A., MAHINTHAKUMAR, G. Finding all-pairs shortest path for a large-scale transportation network using parallel Floyd-Warshall and parallel Dijkstra algorithms. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 27(3), 2012, p. 263-273.

PRETAGOSTINI, R., DE SIMONE, P., PERITORE, D., CORTESINI, R. The organizational model of the interregional transplant agency Organizzazione Centro-Sud Trapianti. *Transplantation proceedings*, Vol. 37, No. 6. Elsevier, 2005. p 2417-2418.

ROCHA, A. L. C. L., SCAVARDA L. F. R. R. C. XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual: Desafios da Engenharia de Produção na Consolidação do Brasil no Cenário Econômico Mundial. Belo Horizonte, 04 a 07 out. 2011.

RODRIGUEZ, J. I. Vidas en espera: En 2008 los aeropuertos participaron en 1.691 ocasiones en el transporte de equipos y órganos para trasplante. *Revista del Ministerio de Fomento – n589*, 2009. p 50-54. In: <http://www.fomento.gob.es/AZ.BBMF.Web/documentacion/pdf/A22028.pdf>. Acesso em 13/10/2013.

ROODNAT, J. I., MULDER, P. G. H., VAN RIEMSDIJK, I. C., IJZERMANS, J. N. M., VAN GELDER, T., WEIMAR, W. Ischemia times and donor serum creatinine in relation to renal graft

failure. *Transplantation*, 75(6), 2003. p 799-804.

RUDGE, C., MATESANZ, R., DELMONICO, F. L., CHAPMAN, J. International practices of organ donation. *British journal of anaesthesia*, 108(suppl 1), 2012. p 48-55.

SACK, K. 60 Lives, 30 Kidneys, All Linked. *The New York Times*, 18, 2012.

SALAHUDEEN, A. K., MAY, W. Reduction in cold ischemia time of renal allografts in the United States over the last decade. *Transplantation proceedings*, Vol. 40, No. 5. Elsevier, 2008. p 1285-1289.

SCHNITZLER, M. A., BUCHANAN, P. M., BURROUGHS, T. E., LEE, R., HAUPTMAN, P. J. Impact of ischemia time on the outcomes of heart transplant. *The Journal of Heart and Lung Transplantation*, 26(2), 2007. p 64.

SCHULZ, F., WAGNER, D., WEIHE, K. Dijkstra's algorithm on-line: An empirical case study from public railroad transport. Springer Berlin Heidelberg, 1999.

SCHÜTT, G. R. Models for transplant coordination. *Transplantation proceedings*, Vol. 30, No. 3, Elsevier, 1998. p 756-758.

SEGEV D. L., GENTRY S. E., WARREN D. S., REEB B., MONTGOMERY R. A. Kidney paired donation and optimizing the use of live donor organs. *JAMA*, 292, 2005. p 1883-1890.

SEGEV, D. L., VEALE, J. L., BERGER, J. C., HILLER, J. M., HANTO, R. L., LEESER, D. B., GEFFNER, S. R., SHENOY, S., BRY, W. I., KATZNELSON, S., MELCHER, M. L., REES, M. A., SAMARA, E. N. S., ISRANI, A. K., COOPER, M., MONTGOMERY, R. J., MALINZAK, L., WHITING, J., BARAN, D., TCHERVENKOV, J. I., ROBERTS, J. P., RODGERS, J., AXELROD, D. A., SIMPKINS, C. E., MONTGOMERY, R. A. Transporting live donor kidneys for kidney paired donation: initial national results. *American Journal of Transplantation*, 11(2), 2011. p 356-360.

SEREGUETTI, R. D. L., DA SILVA, R. V. A cadeia de distribuição de órgãos humanos para fins de transplante: estudo de caso para transplante renal. *Revista de Logística da Fatec Carapicuíba* Ano 2 Número 2, 2011.

SIMPKINS, C. E., MONTGOMERY, R. A., GENTRY, S. E., LOCKE, J. E., WARREN, D. S., SEGEV, D. L. The Effect of Cold Ischemic Time on Live Donor Renal Transplantation: Is Organ Transport Feasible for Live Donors?. *Transplantation*, 82(1), 2006. p 262-263.

SIMPKINS, C. E., MONTGOMERY, R. A., HAWXBY, A. M., LOCKE, J. E., GENTRY, S. E., WARREN, D. S., SEGEV, D. L. Cold ischemia time and allograft outcomes in live donor renal transplantation: is live donor organ transport feasible?. *American journal of transplantation*, 7(1), 2007. p 99-107.

STAHL, J. E., KONG, N., SHECHTER, S. M., SCHAEFER, A. J., ROBERTS, M. S. A methodological framework for optimally reorganizing liver transplant regions. *Medical Decision Making*, 25(1), 2005. p 35-46.

STAHL, J. E., KREKE, J. E., MALEK, F. A. A., SCHAEFER, A. J., VACANTI, J. Consequences of cold-ischemia time on primary nonfunction and patient and graft survival in liver transplantation: a meta-analysis. *PLoS One*, 3(6), 2008. p 2468.

STEWART, Z. A., CAMP, P. A., TAYLOR, K. H., STEWART, D. E., THOMPSON, E. B., BROWN, R. S. Systems and Human Errors Are the Major Causes of Organ Transportation Failures and Resulting Discards. *American Journal of Transplantation*, Vol. 12, 2012. p. 226-226.

SUMMERS, D. M., JOHNSON, R. J., ALLEN, J., FUGGLE, S. V., COLLETT, D., WATSON, C. J., BRADLEY, J. A. Analysis of factors that affect outcome after transplantation of kidneys donated after

cardiac death in the UK: a cohort study. *The Lancet*, 376(9749), 2010. p 1303-1311.

TAKEMOTO, S. K., TERASAKI, P. I., GJERTSON, D. W., CECKA, J. M. Twelve years' experience with national sharing of HLA-matched cadaveric kidneys for transplantation. *New England Journal of Medicine*, 343(15), 2000. p 1078-1084.

TANAKA, N., STEVENS, L. E., TERASAKI, P. I. Storage and transport of 83 human kidneys by simple hypothermia. *Transplantation*, 12(5), 1971. p 348-352.

THOMAS, F. T., SZENTPETERY, S. S., MAMMANA, R. E., WOLFGANG, T. C., LOWER, R. R. Long-distance transportation of human hearts for transplantation. *The Annals of thoracic surgery*, 26(4), 1978. p 344-350.

TIRASTITTAM, P., WAIYAWUTHTHANAPOOM, P. Public Transport Planning System by Dijkstra Algorithm: Case Study Bangkok Metropolitan Area. *World Academy of Science, Engineering and Technology. International Journal of Social, Human Science and Engineering Vol:8 No:1*, 2014.

TOTSUKA, E., FUNG, J. J., LEE, M. C., ISHII, T., UMEHARA, M., MAKINO, Y., CHANG, T. H., TOYOKI, Y., NARUMI, S., HAKAMADA, K., SASAKI, M. Influence of cold ischemia time and graft transport distance on postoperative outcome in human liver transplantation. *Surgery today*, 32(9), 2002. p 792-799.

UE – UNIÃO EUROPÉIA. Directiva 2010/45/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 7 de Jul de 2010, sobre normas de calidad y seguridad de los órganos humanos destinados al trasplante. *Diario Oficial de la Unión Europea de 06/08/2010*. p 207/14 a 207/28.

UEHLINGER, N., BEYELER, F., MARTI, H. P., IMMER, F. F. Organ transplantation in Switzerland: impact of the new transplant law on cold ischaemia time and organ transports. *Swiss medical weekly*, 140(15), 2010. p 222.

VAN DER WERF, W. J., D'ALESSANDRO, A. M., HOFFMANN, R. M., KNECHTLE, S. J. Procurement, preservation, and transport of cadaver kidneys. *Surgical Clinics of North America*, 78(1), 1998. p 41-54.

VÁZQUEZ-SALCEDA, J., PADGET, J. A., CORTÉS, U., LÓPEZ-NAVIDAD, A., CABALLERO, F. Formalizing an electronic institution for the distribution of human tissues. *Artificial Intelligence in Medicine*, 27(3), 2003. p 233-258.

VENANZI, D., DA SILVA, O. R., GONÇALVES, L. C., MEYER, P. Cadeia de suprimentos de órgãos: um estudo de caso no Conjunto Hospitalar de Sorocaba. *VIII Congresso Nacional de Excelência em Gestão*. Rio de Janeiro, 2012.

WAKI, K., TERASAKI, P. I. Paired kidney donation by shipment of living donor kidneys. *Clinical transplantation*, 21(2), 2007. p 186-191.

WANG, J., SUN, Y., LIU, Z., YANG, P., LIN, T. Route planning based on Floyd algorithm for intelligence transportation system. *Integration Technology, 2007. ICIT'07. IEEE International Conference on. IEEE, 2007*. p. 544-546.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Data Harmonization on Transplantation Activities and Outcomes: Editorial Group for a Global Glossary*. World Health Organization. Geneva, 2007.

WILLIAMS, M. C., CREGER, J. H., BELTON, A. M., BROWN, R. S., MORRISON, J. M., HARDY, M. A., MCDONALD, J. C., WILLIAMS, G. M., KAUFFMAN, H. M. The organ center of the United Network for Organ Sharing and twenty years of organ sharing in the United States. *1. Transplantation*, 77(5), 2004. p 641-646.

WOLFBRANDT, A., LINDSTRÖM, K., MJÖRNSTEDT, L., FRIMAN, S. What are we waiting for? Analyses of factors influencing cold ischemia time. Transplantation proceedings, Vol. 42, No. 10. Elsevier, 2010. p 4436-4437.

APÊNDICE A – Matriz de caminhos da rede de aeroportos

O/D	A									B												C			D						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
A	1		1-2	1-6-3	1-6-3-4	1-5	1-6	1-6-7	1-6-8	1-9	1-10	1-10-11	1-10-12	1-10-13	1-10-14	1-10-15	1-6-3-17-16	1-6-3-17	1-10-18	1-10-15-19	1-10-20	1-21	1-23-22	1-23	1-26-24	1-2-25	1-26	1-27	1-23-28	1-23-29	1-23-30
	2	2-1		2-3	2-3-4	2-5	2-6	2-3-7	2-8	2-9	2-10	2-10-11	2-10-12	2-10-13	2-10-14	2-10-15	2-3-17-16	2-3-17	2-10-18	2-10-15-19	2-10-20	2-21	2-23-22	2-23	2-24	2-25	2-26	2-27	2-28	2-23-29	2-23-30
	3	3-6-1	3-2		3-4	3-5	3-6	3-7	3-8	3-6-9	3-10	3-10-11	3-10-12	3-10-13	3-10-14	3-15	3-17-16	3-17	3-15-18	3-15-19	3-10-20	3-21	3-10-22	3-23	3-10-24	3-2-25	3-2-26	3-27	3-23-28	3-23-29	3-23-30
	4	4-3-6-1	4-3-2	4-3		4-3-5	4-3-6	4-7	4-3-8	4-3-6-9	4-10	4-10-11	4-10-12	4-10-13	4-10-14	4-17-15	4-17-16	4-17	4-17-15-18	4-17-15-19	4-10-20	4-10-21	4-10-22	4-23	4-10-24	4-26-25	4-26	4-27	4-10-28	4-10-29	4-10-30
	5	5-1	5-2	5-3	5-3-4		5-1-6	5-3-7	5-3-8	5-1-9	5-10	5-10-11	5-10-12	5-10-13	5-10-14	5-3-15	5-3-17-16	5-3-17	5-10-18	5-3-15-19	5-10-20	5-21	5-23-22	5-23	5-27-24	5-2-25	5-1-26	5-27	5-23-28	5-23-29	5-23-30
	6	6-1	6-2	6-3	6-3-4	6-1-5		6-7	6-8	6-9	6-10	6-10-11	6-10-12	6-10-13	6-10-14	6-3-15	6-3-17-16	6-3-17	6-10-18	6-3-15-19	6-10-20	6-21	6-23-22	6-23	6-26-24	6-2-25	6-26	6-27	6-2-28	6-23-29	6-23-30
	7	7-6-1	7-6-2	7-3	7-4	7-3-5	7-6		7-3-8	7-6-9	7-10	7-10-11	7-10-12	7-10-13	7-10-14	7-3-15	7-4-17-16	7-4-17	7-10-18	7-3-15-19	7-10-20	7-21	7-10-22	7-23	7-10-24	7-10-25	7-10-26	7-10-27	7-10-28	7-10-29	7-10-30
	8	8-6-1	8-2	8-3	8-3-4	8-3-5	8-6	8-3-7		8-6-9	8-10	8-10-11	8-10-12	8-10-13	8-10-14	8-3-15	8-3-17-16	8-3-17	8-10-18	8-3-15-19	8-10-20	8-21	8-27-22	8-23	8-27-24	8-2-25	8-26	8-27	8-23-28	8-23-29	8-23-30
	9	9-1	9-2	9-6-3	9-6-3-4	9-1-5	9-6	9-6-7	9-6-8		9-2-10	9-2-10-11	9-23-12	9-23-13	9-2-10-14	9-6-3-15	9-6-3-17-16	9-6-3-17	9-2-10-18	9-6-3-15-19	9-2-10-20	9-21	9-23-22	9-23	9-27-24	9-2-25	9-2-26	9-27	9-23-28	9-23-29	9-23-30
B	10	10-1	10-2	10-3	10-4	10-5	10-6	10-7	10-8	10-2-9		10-11	10-12	10-13	10-14	10-15	10-17-16	10-17	10-18	10-15-19	10-20	10-21	10-22	10-23	10-24	10-25	10-26	10-27	10-28	10-29	10-30
	11	11-10-1	11-10-2	11-10-3	11-10-4	11-10-5	11-10-6	11-10-7	11-10-8	11-26-9	11-10		11-13-12	11-13	11-10-14	11-10-15	11-10-17-16	11-10-17	11-13-18	11-10-15-19	11-20	11-21	11-22	11-23	11-24	11-26-25	11-26	11-27	11-24-28	11-24-29	11-24-30
	12	12-10-1	12-10-2	12-10-3	12-10-4	12-10-5	12-10-6	12-10-7	12-10-8	12-21-9	12-10	12-10-11		12-13	12-13-18-14	12-10-15	12-10-17-16	12-10-17	12-13-18	12-10-15-19	12-10-20	12-21	12-24-22	12-23	12-24	12-23-25	12-24-26	12-27	12-28	12-28-29	12-28-30
	13	13-10-1	13-10-2	13-10-3	13-10-4	13-10-5	13-10-6	13-10-7	13-10-8	13-26-9	13-10	13-11	13-12		13-18-14	13-18-15	13-10-17-16	13-10-17	13-18	13-18-15-19	13-11-20	13-21	13-11-22	13-23	13-24	13-23-25	13-26	13-27	13-28	13-29	13-24-30
	14	14-10-1	14-10-2	14-10-3	14-10-4	14-10-5	14-10-6	14-10-7	14-10-8	14-10-2-9	14-10	14-10-11	14-18-13-12	14-18-13		14-18-15	14-18-16	14-18-15-17	14-18	14-18-15-19	14-10-20	14-10-21	14-10-22	14-10-23	14-10-24	14-10-25	14-10-26	14-10-27	14-10-28	14-10-29	14-10-30
	15	15-10-1	15-10-2	15-3	15-17-4	15-3-5	15-3-6	15-3-7	15-3-8	15-26-9	15-10	15-10-11	15-10-12	15-18-13	15-18-14		15-17-16	15-17	15-18	15-19	15-10-20	15-21	15-10-22	15-23	15-10-24	15-10-25	15-26	15-27	15-10-28	15-10-29	15-10-30

APÊNDICE A – Matriz de caminhos da rede de aeroportos (continuação)

O/D	A									B														C			D				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
B	16	16-17-3-6-1	16-17-3-2	16-17-3	16-17-4	16-17-3-5	16-17-3-6	16-17-4-7	16-17-3-8	16-17-3-6-9	16-17-10	16-17-10-11	16-17-10-12	16-17-10-13	16-17-15-18-14	16-17-15		16-17-15-18	16-17-15-19	16-17-10-20	16-17-21	16-17-10-22	16-17-23	16-17-10-24	16-17-26-25	16-17-26	16-17-27	16-17-10-28	16-17-10-29	16-17-10-30	
	17	17-3-6-1	17-3-2	17-3	17-4	17-3-5	17-3-6	17-4-7	17-3-8	17-3-6-9	17-10	17-10-11	17-10-12	17-10-13	17-15-18-14	17-15	17-16	17-15-18	17-15-19	17-10-20	17-21	17-10-22	17-23	17-10-24	17-26-25	17-26	17-27	17-10-28	17-10-29	17-10-30	
	18	18-10-1	18-10-2	18-15-3	18-15-17-4	18-10-5	18-10-6	18-10-7	18-10-8	18-10-2-9	18-10	18-13-11	18-13-12	18-13	18-14	18-15	18-15-17-16	18-15-17	18-15-19	18-10-20	18-13-21	18-10-22	18-13-23	18-13-24	18-10-25	18-10-26	18-10-27	18-10-28	18-13-29	18-10-30	
	19	19-15-10-1	19-15-10-2	19-15-15-3	19-15-17-4	19-15-3-5	19-15-3-6	19-15-3-7	19-15-3-8	19-15-26-9	19-15-10	19-15-10-11	19-15-10-12	19-15-18-13	19-15-18-14	19-15	19-15-17-16	19-15-17	19-15-18	19-15-20	19-15-21	19-15-10-22	19-15-23	19-15-10-24	19-15-10-25	19-15-26	19-15-27	19-15-10-28	19-15-10-29	19-15-10-30	
	20	20-10-1	20-10-2	20-10-3	20-10-4	20-10-5	20-10-6	20-10-7	20-10-8	20-10-2-9	20-10	20-11	20-10-12	20-10-13	20-10-14	20-10-15	20-10-17-16	20-10-17	20-10-18	20-10-15-19		20-10-21	20-10-22	20-10-23	20-10-24	20-10-25	20-10-26	20-10-27	20-10-28	20-10-29	20-10-30
	21	21-1	21-2	21-3	21-26-4	21-5	21-6	21-7	21-8	21-9	21-10	21-11	21-12	21-13	21-10-14	21-15	21-17-16	21-17	21-13-18	21-15-19	21-10-20		21-22	21-27-23	21-27-24	21-25	21-26	21-27	21-28	21-29	21-30
	22	22-27-1	22-23-2	22-23-3	22-23-4	22-23-5	22-23-6	22-10-7	22-27-8	22-27-9	22-10	22-11	22-24-12	22-11-13	22-10-14	22-23-15	22-10-17-16	22-10-17	22-10-18	22-23-15-19	22-11-20	22-21		22-23	22-24	22-23-25	22-24-26	22-27	22-24-28	22-24-29	22-24-30
	23	23-1	23-2	23-3	23-4	23-5	23-6	23-7	23-8	23-9	23-10	23-11	23-12	23-13	23-10-14	23-15	23-17-16	23-17	23-13-18	23-15-19	23-10-20	23-27-21	23-22		23-28-24	23-25	23-26	23-27	23-28	23-29	23-30
24	24-2-1	24-2	24-26-3	24-26-4	24-27-5	24-26-6	24-10-7	24-27-8	24-26-9	24-10	24-11	24-12	24-13	24-10-14	24-26-15	24-26-17-16	24-26-17	24-13-18	24-26-15-19	24-11-20	24-27-21	24-22	24-27-23		24-25	24-26	24-27	24-28	24-29	24-30	
C	25	25-2-1	25-2	25-2-3	25-26-4	25-2-5	25-2-6	25-10-7	25-2-8	25-2-9	25-10	25-26-11	25-24-12	25-26-13	25-10-14	25-26-15	25-26-17-16	25-26-17	25-10-18	25-26-15-19	25-10-20	25-21	25-27-22	25-23	25-24		25-26	25-27	25-24-28	25-24-29	25-24-30
	26	26-2-1	26-2	26-3	26-4	26-10-5	26-6	26-10-7	26-6-8	26-9	26-10	26-11	26-12	26-13	26-10-14	26-15	26-17-16	26-17	26-10-18	26-15-19	26-10-20	26-21	26-24-22	26-23	26-24	26-25	26-27	26-28	26-29	26-24-30	
	27	27-1	27-2	27-3	27-4	27-5	27-6	27-10-7	27-8	27-9	27-10	27-11	27-12	27-13	27-10-14	27-15	27-17-16	27-17	27-10-18	27-15-19	27-10-20	27-21	27-22	27-23	27-24	27-25	27-26		27-28	27-29	27-30
D	28	28-2-1	28-2	28-23-3	28-23-4	28-23-5	28-2-6	28-10-7	28-23-8	28-2-9	28-10	28-24-11	28-12	28-12-13	28-10-14	28-23-15	28-10-17-16	28-10-17	28-10-18	28-23-15-19	28-10-20	28-21	28-24-22	28-23	28-24	28-23-25	28-26	28-27		28-29	28-30
	29	29-23-1	29-23-2	29-23-3	29-23-4	29-23-5	29-23-6	29-10-7	29-23-8	29-23-9	29-10	29-24-11	29-28-12	29-13	29-10-14	29-23-15	29-10-17-16	29-10-17	29-10-18	29-23-15-19	29-10-20	29-21	29-24-22	29-23	29-24	29-23-25	29-26	29-27	29-28		29-30
	30	30-23-1	30-23-2	30-23-3	30-23-4	30-23-5	30-23-6	30-23-7	30-23-8	30-23-9	30-10	30-24-11	30-28-12	30-24-13	30-10-14	30-23-15	30-23-17-16	30-23-17	30-10-18	30-23-15-19	30-10-20	30-21	30-24-22	30-23	30-24	30-23-25	30-24-26	30-27	30-28	30-29	