



BEATRIZ ISABEL SILVA JORGE

Licenciada em Matemática

EXPANSÃO DO PROGRAMA DE VISITAS PARA A OPERAÇÃO NARIZ VERMELHO

MESTRADO EM MATEMÁTICA E APLICAÇÕES
ESPECIALIDADE EM CIÊNCIAS DOS DADOS E DECISÃO

Universidade NOVA de Lisboa
Setembro, 2023



EXPANSÃO DO PROGRAMA DE VISITAS PARA A OPERAÇÃO NARIZ VERMELHO

BEATRIZ ISABEL SILVA JORGE

Licenciada em Matemática

Orientadora: Maria Isabel Azevedo Rodrigues Gomes
Professora Associada, Universidade NOVA de Lisboa

MESTRADO EM MATEMÁTICA E APLICAÇÕES
ESPECIALIDADE EM CIÊNCIAS DOS DADOS E DECISÃO

Universidade NOVA de Lisboa
Setembro, 2023

Expansão do Programa de Visitas para a Operação Nariz Vermelho

Copyright © Beatriz Isabel Silva Jorge, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade NOVA de Lisboa.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade NOVA de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

To the ones who believed me the most.

AGRADECIMENTOS

Esta dissertação é o culminar do meu percurso académico superior, que tomou mais de um quinto da minha vida. Foi muito gratificante chegar a este momento apesar de muito difícil, e nunca estaria aqui sem todos os que auxiliaram o meu sucesso.

Agradeço à minha orientadora, a Professora Isabel Gomes, por estar sempre disponível e pelo apoio nas suas reuniões frequentes para que eu cumprisse sempre os objetivos. Os últimos 12 meses foram muito mais facilitados pelos pequenos objetivos definidos. Foi um prazer trabalhar consigo.

Agradeço à ONV, nomeadamente à Iêda e Inês, pela proposta de colaboração na qual surgiu esta dissertação.

Aos meus amigos e colegas com quem partilhei os últimos 5 anos, agradeço por todos os esclarecimentos, por ouvirem as minhas dúvidas, partilharem os meus receios e por todos os dias em que colaborámos para concluir estes percursos. Obrigada Emazita por estares sempre comigo.

À minha família agradeço pelo apoio nos últimos anos, apesar de todo o tempo que foi necessário sacrificar. Agradeço por acreditarem na minha educação e apoiarem todo o percurso.

Por último, e não menos importante, ao meu querido namorado Guilherme, que percebeu completamente todas as dificuldades, ouviu todos os problemas, por mais parvos que fossem e ajudou nas resoluções, obrigada pelo amor e apoio incondicional no que foram 5 anos de loucos para os dois. Sem ti não teria sido o mesmo.

Espero ter deixado todos vocês orgulhosos como primeira Mestre na família.

”

«

“Happiness can be found, even in the darkest of times, if one only remembers to turn on the light.”

(Albus Dumbledore)

»

RESUMO

A Operação Nariz Vermelho (ONV) é uma instituição particular de solidariedade social com um programa de visitas semanais de palhaços profissionais, os Doutores Palhaços, a hospitais pediátricos portugueses. Existem apenas 17 de 49 hospitais em território continental que estão abrangidos pelo programa, existindo assim a necessidade de expansão. Nesse âmbito surge esta dissertação com o propósito de fornecer ferramentas para uma tomada de decisão mais informada.

Será elaborado numa primeira fase uma ordenação dos hospitais atendendo a três critérios definidos pela ONV, recorrendo à metodologia de decisão multi-critério SMART. Com isto poderemos perceber quais os hospitais mais propícios a serem incluídos na expansão inicial. Depois iremos recorrer a modelos de localização baseados em *set covering* e *max covering* de forma a otimizar a localização de novos polos ou equipas locais para servir o maior número de hospitais ou de camas pediátricas possível.

Os resultados obtidos permitirão que a ONV escolha de forma informada quais os próximos hospitais que poderão ser abrangidos pelo programa.

Palavras-chave: Modelos de Decisão Multi-Critério, Modelos de Localização, Operação Nariz Vermelho.

ABSTRACT

Operação Nariz Vermelho (ONV) is a private charity with a program of weekly visits by professional clowns, Clown Doctors, to portuguese hospitals with paediatric wards. There are only 17 out of 49 hospitals in mainland Portugal that are covered by the program, so there is a need for expansion. With this in mind, this dissertation aims to provide tools for more informed decision-making.

The first stage will be to rank the hospitals according to three criteria defined by the ONV, using the SMART multi-criteria decision methodology. This will enable us to assess which hospitals are most likely to be included in the initial expansion. We will then use location optimization models based on *set covering* and *max covering* models in order to optimize the location of new hubs or local teams to serve as many hospitals or paediatric beds as possible.

The results obtained will allow the ONV to make an informed choice as to which hospitals could be covered by the program next.

Keywords: Multi-Criteria Decision Making Models, Location Modeling, Operação Nariz Vermelho.

ÍNDICE

Índice de Figuras	xv
Índice de Tabelas	xvii
1 Introdução	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Estrutura do documento	3
2 Estudo de Caso	5
2.1 Hospitais e Visitas	5
2.2 Equipa e Recursos Financeiros	6
3 Métodos	9
3.1 Metodologias Multi-Critério	9
3.1.1 Simple Multi-Attribute Rating Technique - SMART	10
3.2 Modelos de localização	12
3.2.1 Modelos Utilizados	13
4 Dados	19
4.1 Datasets	19
4.1.1 Mapeamento Geral ONV 2021	19
4.1.2 Taxa de Ocupação	19
4.1.3 Mapeamento de visitas	20
4.2 Metodologia SMART	21
4.3 Modelos de Localização	22
5 Análise de Resultados	25
5.1 SMART e TRIDENT	25
5.2 Modelos de Localização	32
5.2.1 Modelo 1: modelo de cobertura de conjuntos	32

5.2.2	Modelo 2: minimização dos tempos de viagem	36
5.2.3	Modelo 3: modelo bi-objetivo	37
5.2.4	Modelo 4: modelo de cobertura máxima	39
6	Conclusões	43
	Bibliografia	45

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1	Receitas da ONV de 2021, [1]	7
2.2	Despesas da ONV em 2021, [1]	8
3.1	Categorias dos Modelos de Localização Discretos, [6]	13
5.1	Análise Trident: (a) Top 5 Geral, (b) Top 5 Norte	27
5.2	Análise Trident: (a) Melhor classificado, (b) Dois melhores classificados . . .	29
5.3	Análise Trident Norte: (a) Melhor classificado, (b) Melhores dois classificados	31
5.4	Mapas de cobertura: (a) $D^c = 1$; (b) $D^c = 1.25$ e (c) $D^c = 1.5$	34
5.5	Mapas de cobertura: (a) $D^c = 1.75$ e (b) $D^c = 1.25$	35
5.6	Mapa de cobertura do segundo modelo	36
5.7	Representação do número de localizações em função de W e D^c	37
5.8	Representação do tempo total de viagem em função de W e D^c	38
5.9	Cobertura por número de localizações e tempo máximo de viagem: (a) sem fixar locais e (b) fixando Lisboa e Porto	40

ÍNDICE DE TABELAS

3.1	Resultados modelo 2	11
4.1	Plano de visitas dos Doutores Palhaços em 2020, [1]	20
5.1	Matriz final ordenada, excerto	25
5.2	Hospitais melhor classificados e respetivos valores de rank	26

INTRODUÇÃO

Os Doutores Palhaços são artistas com uma formação especializada para que possam exercer as suas funções em contexto hospitalar. Eles fazem atuações, planeadas ou não, com o objetivo de trazer algum alívio ao stress e desconforto de uma criança hospitalizada, criando uma melhor atmosfera entre todos os envolvidos.

Hunter Doherty ‘Patch’ Adams é muitas vezes considerado o fundador dos doutores palhaço. Ele colocou um nariz vermelho enquanto trabalhava em hospitais, acreditando que humor e riso criavam uma atmosfera de confiança entre staff e pacientes [8]. Michael Christensen, um dos fundadores do Big Apple Circus, abriu em 1986 a Clown Care Unit, começando a intervenção em contexto hospitalar de palhaços profissionais de formação especializada [12].

Atualmente existem diversas organizações e instituições de doutores palhaço pelo mundo: a Theodora Foundation que patrocina os Doutores Palhaço em diversos países da Europa central, África e Ásia; The Humour Foundation que opera na Austrália; a Operação Nariz Vermelho em Portugal, entre outros [8].

A Operação Nariz Vermelho (ONV) é uma Instituição Particular de Solidariedade Social que “assegura de forma continua um programa de intervenção dentro dos serviços pediátricos dos hospitais portugueses, através da visita de palhaços profissionais” [1]. Desde a sua fundação há mais de 20 anos, a ONV levou duplas de doutores palhaço a milhares de encontros em contexto hospitalar. O seu trabalho não é auxiliar na cura do paciente, mas sim atuar sobre o que é saudável na pessoa e ir ao encontro dela, trazendo um contraste à situação. A intervenção em dupla permite deixar espaço para interação com o público ou deixar que a criança possa ser um mero espetador, criando assim uma zona de conforto.

Ao longo das últimas décadas, foram realizados imensos estudos acerca do impacto que este tipo de intervenção tem, não só no paciente, mas também para nos seus familiares, médicos e enfermeiros dos serviços visitados. Para além disso, existe também a utilização de inquéritos aos familiares e staff hospitalar para avaliar a sua perceção dos Doutores Palhaço e qual o seu papel a desempenhar no contexto hospitalar.

Em Blerkom (1995) é feita uma comparação entre Palhaços e Xamãs, onde é mencionado

que uma revisão de literatura demonstra que esta comparação não é nova e que, para além disso o entretenimento dado pelos palhaços tem origem em performances xamãs, [16]. O estudo foi feito por observação dos doutores palhaços da Clown Care Unit e posteriores entrevistas, tendo sido concluído que a integração destes é particularmente apropriada para crianças hospitalizadas, pois estas são mais recetivas às suas palhaçadas.

Finlay et. al. (2014) realizam uma revisão de literatura pediátrica acerca dos efeitos da intervenção de palhaços em procedimentos médicos e dentro das equipas clínicas [8]. Alguns dos procedimentos foram a introdução de anestesia, procedimentos invasivos como biópsias, exames em casos de abuso sexual e reabilitação, de onde se conclui que é possível aliviar o sofrimento e ansiedade nas crianças ao oferecer "doses de diversão". Nos inquéritos realizados foi mostrado que a maioria dos médicos pediátricos e dos pais consideram que a presença dos palhaços tem um efeito positivo e que estes fazem parte da equipa médica de forma benéfica.

Em Ford et.al. (2014), com resultados semelhantes aos dos artigos anteriores, é falada na adesão geral por parte das crianças e no impacto positivo que a interação tem, tanto no momento do encontro como depois disso [9]. As famílias referem a boa recetividade que as visitas de doutores palhaços tiveram, com algumas exceções em que mostravam alguma dúvida se a intervenção teria sido cativante ou não para os pacientes. O staff hospitalar pode utilizar as visitas como oportunidade para, posteriormente, estabelecer melhores relações com o paciente e a família. Finalmente é destacada uma limitação grande deste caso de estudo: o número de jovens a participar é baixo devida à elevada taxa de rejeição de participar em entrevistas.

Por fim, Venrooji e Barnhoorn focam o seu estudo na perceção dos doutores palhaços por parte de médicos pediátricos e enfermeiros [17]. De modo geral, os trabalhadores estão familiarizados com o trabalho dos artistas e reconhecem o impacto positivo que tem nos seus pacientes. Destacam-se, porém, algumas experiências negativas: excesso de barulho nos corredores do hospital, alguns trabalhadores afirmam evitar o contacto com os palhaços porque consideram desconfortável que se mantenham em personagem mesmo quando não estão com crianças e ainda mencionam que o trabalho que fazem deve permanecer separado do trabalho dos doutores palhaços.

1.1 Objetivos

Existem dois grandes objetivos nesta dissertação. O primeiro será auxiliar na tomada de decisão referente à expansão do programa de visitas da ONV. O segundo é modelar e otimizar as necessidades de Doutores Palhaço de forma a, por exemplo, maximizar a cobertura dos hospitais portugueses pelo programa de visitas atendendo às restrições necessárias.

Os objetivos gerais podem ser divididos em vários objetivos mais específicos:

- Seleção dos hospitais a incluir numa primeira fase de expansão através de uma ordenação com uma metodologia de apoio à decisão multicritério;
- Avaliação de sensibilidade aos pesos atribuídos aos critérios para permitir à ONV tomar uma decisão informada com todas as nuances expostas;
- Utilização de modelos de localização de forma a obter potenciais localizações onde poderiam ser abertos novos polos (ou apenas contratos locais) de forma a servir todos os hospitais candidatos;
- Utilização de outros modelos de otimização que permitam inferir sobre um número específico de polos além dos existentes, de forma a maximizar o número de crianças que se conseguiria atingir.

1.2 Estrutura do documento

Além do capítulo de introdução, existem ainda cinco outros capítulos nesta dissertação.

O segundo capítulo é dedicado à descrição mais detalhada do problema, dando informação acerca dos recursos humanos e financeiros disponíveis na ONV, os planos atuais e qual o plano para expansão.

O terceiro capítulo foca-se na contextualização teórica, descrição de conceitos de modelos de localização e de metodologias multi-critério que serão utilizados no decorrer desta dissertação. Além disso, é descrita a metodologia escolhida para a ordenação e são apresentados em detalhe as formulações dos modelos de localização selecionados.

No quarto capítulo apresentam-se e descrevem-se todos os dados a utilizar. São apresentados alguns datasets, qual a sua origem, a informação que se extraiu deles e também a origem de outros dados não obtidos diretamente, que resultaram de recolha de informação dos vários datasets e manipulação da mesma.

Após o estudo de caso, métodos e dados, passa-se ao quinto capítulo onde são analisados os resultados. É feita a divisão em secções correspondentes a cada metodologia e modelo utilizados, onde se apresentam gráficos, tabelas, mapas e figuras que ilustram os resultados obtidos. Posteriormente é feita uma análise de onde poderão ser extraídas conclusões acerca de possíveis estratégias de expansão do programa de visitas da ONV.

Por último existe o capítulo de conclusões, no qual se destaca a informação mais importante proveniente da análise de resultados de forma a poder responder diretamente aos dois principais objetivos desta dissertação. Também serão apresentadas sugestões de trabalho futuro onde são identificados aspetos que poderiam ser considerados como melhoria ao trabalho já existente, abrindo portas à formulação de modelos mais específicos baseados nos já utilizados.

ESTUDO DE CASO

A Operação Nariz Vermelho é uma instituição que, desde 2002, tem levado duplas de Doutores Palhaço a hospitais públicos portugueses semanalmente de forma a ir ao encontro de crianças em contexto hospitalar.

A ONV pretende expandir o seu programa de visitas aos restantes hospitais públicos de Portugal continental e ilhas, para que todas as crianças hospitalizadas possam ter a visita de Doutores Palhaço. A expansão pode dar-se de três formas distintas: aumento do número de visitas semanais; criação de novos polos e formação de novos artistas para cobrir mais hospitais portugueses; e, um método cujo impacto está no momento a ser estudado, visitas à distância. O foco nesta dissertação será a segunda forma de expansão, visto que o aumento das visitas semanais e a utilização das visitas à distância, denominada Palhaços na Linha, fica ao critério da própria ONV e parceiros hospitalares.

2.1 Hospitais e Visitas

Existem atualmente dois polos, em Lisboa e no Porto, sendo abrangidos por este programa 17 hospitais portugueses, visitados entre 1 e 3 vezes por semana. A planificação das visitas é feita de forma a que as quartas-feiras sejam sempre livres, é fixa e elaborada pela equipa de relação hospitalar, visto que também depende da disponibilidade do hospital em questão. De forma a poder avaliar a expansão possível é primeiro necessário verificar quais os hospitais que já estão no programa de visitas da ONV e quantas vezes são visitados.

Na tabela 4.1 (capítulo de Dados) são listados os 17 hospitais abrangidos bem como os dias das visitas efetuadas a estes. Os dados foram retirados do relatório anual de 2020, [1]. Note-se ainda que devido à pandemia de COVID-19 existiu uma interrupção nas visitas presenciais de março a novembro, pelo que a planificação de visitas corresponde à que foi utilizada nos meses de janeiro a março de 2020.

Apesar das circunstâncias em 2020, existiram 54,149 encontros com profissionais do hospital, 20,242 encontros com pais e 12,623 encontros com crianças, totalizados nas

visitas presenciais e à distância, com os Palhaços na Linha. A iniciativa Palhaços na Linha começou nos últimos meses de 2020, e esteve em vigor em 10 dos hospitais do programa.

O ano de 2021 terminou com o regresso das visitas presenciais a 15 dos hospitais, sendo que os restantes dois continuaram com visitas virtuais. Segundo o relatório anual de 2021, existiram 34,257 encontros presenciais e 12,247 encontros virtuais entre janeiro e dezembro de 2021, [1]. A informação mais recente, que pode ser consultada na página inicial do website, é a de serem feitos cerca de 53 mil encontros por ano, sendo que no ano de 2022 as visitas presenciais já estiveram de regresso a todos os 17 hospitais.

Os hospitais que são candidatos a entrar para o programa de visitas são os de serviços oficiais de saúde com pediatria ainda não visitados, totalizando 36 dos 53 em Portugal Continental e Ilhas.

2.2 Equipa e Recursos Financeiros

A equipa de artistas conta neste momento com 33 Doutores Palhaços, profissionais com formação especializada. Estes artistas são divididos em duplas, visitando cada dupla no máximo 2 hospitais, sendo que cada hospital recebe uma única dupla. As equipas são fixas durante 6 meses, período após o qual existe uma rotação das equipas, dentro da área geográfica possível. A organização conta ainda com 19 outros profissionais, como a equipa de relação hospitalar, a equipa de comunicação e a equipa do centro de estudos e pesquisas, [1].

Em relação aos recursos financeiros, a ONV é bastante transparente acerca da captação e utilização destes, disponibilizando nos seus relatórios anuais as receitas e despesas distribuídas pelas áreas de aplicação.

É de notar que à data de escrita desta dissertação ainda não existe o relatório anual de 2022, apenas os planos e orçamentos, pelo que os dados utilizados para demonstração serão os relativos ao ano de 2021.

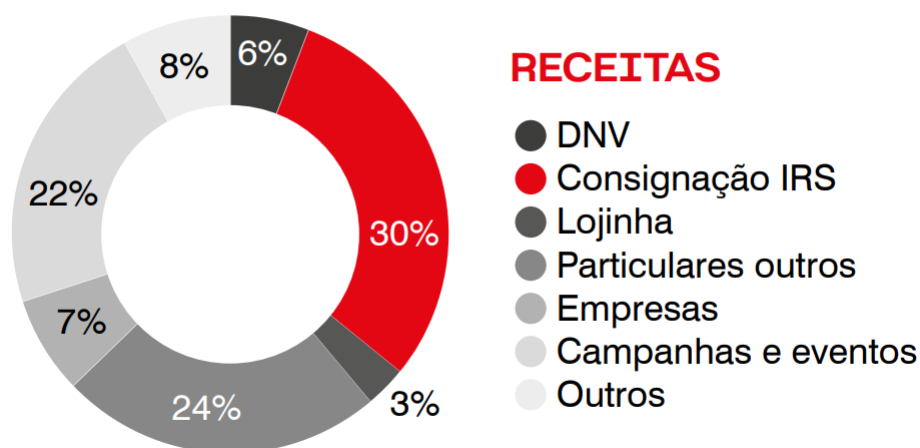


Figura 2.1: Receitas da ONV de 2021, [1]

O valor de total de receitas foi 1,900 mil €, com diferentes proveniências discriminadas na figura 2.1. A maior porção das receitas foi proveniente da consignação do IRS, totalizando 570 mil €, o que representa cerca de 30% do total de receitas anual. No Dia do Nariz Vermelho (DNV) existiram mais de 500 escolas participantes e também várias dezenas de Empresas e parceiros, tendo sido um dia muito bem sucedido no qual escolas angariaram cerca de 130 mil € e as Empresas e parceiros 65 mil €. É ainda importante destacar os mais de 4 mil doadores mensais e mais de 5 mil doadores pontuais, cujos donativos representam cerca de 460 mil €.

O ano de 2021 teve resultados positivos, pois os resultados líquidos foram aproximadamente 400 mil €.

O orçamento de receitas para o ano conseguiu ser ultrapassado e as despesas foram geridas de forma a ficarem abaixo do plano inicial, tendo sido no valor aproximado de 1,500 mil € e distribuídas conforme a figura 2.2.

As despesas têm como maior foco o programa de visitas, que representa cerca de 1/3 dos gastos. Nota-se ainda o investimento que existe nas futuras campanhas, eventos e ainda no centro de estudos, de forma a melhorar a cada ano o impacto que têm junto das crianças hospitalizadas.

Com os resultados positivos dos últimos anos que trazem a possibilidade de reinvestimento para o programa de visitas, a ONV pretende abranger mais hospitais no seu corrente programa. O objetivo será sempre chegar ao maior número de crianças possível para que o alívio e conforto que a presença de Doutores Palhaços pode trazer seja partilhado um pouco por todo o país. Com os dois polos já existentes, há a pergunta sobre quantos mais hospitais poderão ser visitados pelos mesmos, quantas mais equipas terão de ser contratadas e mesmo quantas novas localizações poderiam ser abertas para servir este

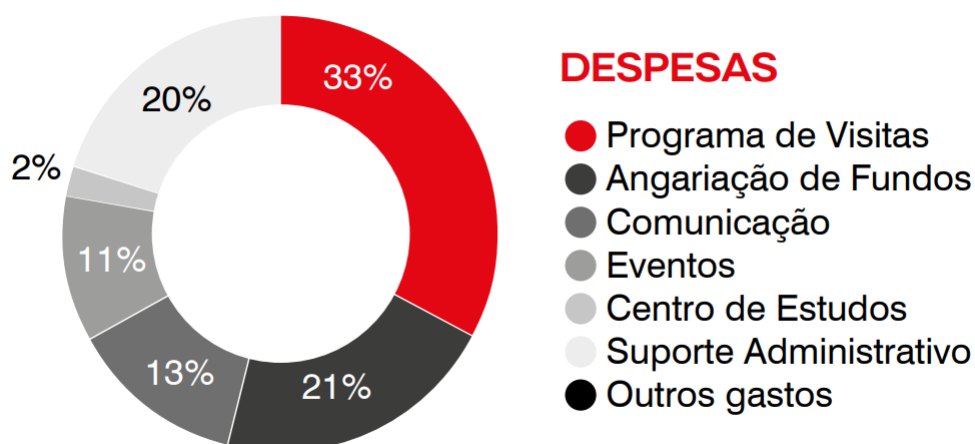


Figura 2.2: Despesas da ONV em 2021, [1]

objetivo de expansão. É neste âmbito que surge esta dissertação.

Após reunião com a equipa do Centro de Estudos e Pesquisa da ONV foi determinado que o primeiro passo para o plano de expansão seria a elaboração de um ranking de hospitais candidatos. Para tal, é necessário recorrer a modelos de decisão multi-critério.

Foram determinados três atributos importantes a utilizar para a classificação: o número médio de camas ocupadas, obtido pela multiplicação da taxa de ocupação média com o número de camas pediátricas disponíveis; o número de serviços que podem ser visitados e as horas de viagem a partir do polo mais próximo (Lisboa ou Porto).

Adicionalmente foi concordado que faria sentido a construção de modelos de localização que permitam realizar afetação de polos ou equipas localizados nos distritos aos hospitais. Estes modelos serão utilizados de forma a avaliar como pode ser feita a expansão de visitas presenciais, seja por abertura de novos polos ou apenas por recrutamento de equipas de certos pontos do país para poder servir hospitais na sua zona.

Com as sugestões iniciais esclarecidas, pode-se dar início ao estudo do problema em mais detalhe para determinar as metodologias e modelos apropriados, como se irá ver no capítulo seguinte, Métodos.

MÉTODOS

Este capítulo é dedicado a uma revisão de literatura acerca de problemas de localização, escolha e justificação dos modelos a utilizar e também explicação dos conceitos base dos modelos de apoio à decisão multicritério.

3.1 Metodologias Multi-Critério

Qualquer tomada de decisão exige um processo por trás, mesmo que apenas seja necessária a sua resolução de forma mental, e utilizando apenas um critério sobre o qual se decide. Na realidade a maioria dos processos de decisão do dia a dia utilizam vários critérios sobre os quais se ponderam alternativas, como comprar um carro, que transportes utilizar para se deslocar, etc., mas existem muitas outras circunstâncias nas quais a avaliação dos critérios é extremamente importante.

Existem diversos campos de aplicação nos quais a utilização de técnicas que auxiliam a decisão pode ser essencial: gestão de portfólios (Finanças), escolha do candidato ideal a um emprego (Carreira e Recursos Humanos), avaliação de produtores (Supply Chain Management), entre outros [15].

Desde a década de 50 que diferentes métodos matemáticos estão a ser estudados e testados de forma a que possam ser utilizados como auxílio nestes processos de tomada de decisão. Um problema de decisão multi-critério pode ser resolvido utilizando uma grande variedade de metodologias deenvolvidas, e mesmo que diferentes existem alguns conceitos transversais que são inerentes a uma tomada de decisão. Entre eles estão as alternativas, os critérios e preferências. Taherdoost e Madanchian (2023) listam métodos de decisão multi-critério com a quantidade de resultados associados na base de dados "Science Direct" entre 2012 e 2022. Destacam-se SMART, TOPSIS, AHP e DEA [17].

A decisão que se pretende tomar nesta dissertação será quais os hospitais pelos quais iniciar uma primeira fase de expansão, e essa decisão será tomada com base em três critérios. O objetivo será pesar esses três critérios de forma a obter uma ordenação (o ranking) dos vários hospitais. Pela sua simplicidade e versatilidade, bem como a potencialidade de uma análise de sensibilidade aos três pesos dos critérios simultaneamente, o método SMART

foi selecionado.

3.1.1 Simple Multi-Attribute Rating Technique - SMART

A técnica SMART foi proposta em 1971 por Edwards. Sendo um método simples que produz soluções robustas, é ainda atualmente um dos métodos multi-critério mais utilizados [10]. O método irá ser descrito sucintamente, apresentando a metodologia que segue e a forma como foi aplicada ao caso em estudo.

A metodologia da técnica SMART pode ser descrita em 9 passos [10] :

1. Identificação do(s) Decisor(es);
2. Identificação das Alternativas;
3. Identificação dos pontos de vista do Decisor que são considerados relevantes para o processo de decisão e como os avaliar (Atributos);
4. Avaliação de todas as Alternativas conforme os Atributos previamente definidos;
5. Conversão dos Atributos para uma escala numérica de referência para que possam ser comparados (Critérios);
6. Análise de Dominâncias;
7. Atribuição de pesos a cada Critério;
8. Determinação da média ponderada para cada Alternativa utilizando os pesos e avaliações previamente definidos;
9. Análise de sensibilidade para avaliar a robustez do resultado.

Os primeiros 3 passos foram já determinados no decorrer previamente. Os decisores serão as responsáveis pelo centro de estudos e pesquisa da ONV. As alternativas são todos os hospitais de serviço público com pediatria em Portugal Continental. Os atributos são os 3 mencionados no estudo de caso (capítulo 2): número médio de camas pediátricas ocupadas, número de serviços e tempo de viagem ao polo mais próximo.

Dando início ao trabalho com os dados para utilizar o SMART, foram colocadas as alternativas, os atributos e os valores de cada um para construção de uma matriz inicial (passo 4).

De seguida procede-se à conversão dos atributos em critérios, o passo 5, utilizando as funções de valor

$$\text{Minimizar: } V(X) = \left(\frac{X_{max} - X}{X_{max} - X_{min}} \right)^{\alpha} \quad (3.1)$$

$$\text{Maximizar: } V(X) = \left(\frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \right)^{\alpha} \quad (3.2)$$

com $\alpha = 1$ para a linearidade. Neste passo utiliza-se a matriz inicial para converter a avaliação das alternativas conforme os atributos: para uma certa entrada da matriz, X , calcula-se o seu novo valor, $V(X)$, com recurso ao valor máximo e mínimo do atributo ao qual corresponde a avaliação X , respetivamente X_{max} e X_{min} . Por outras palavras, os valores máximos e mínimos de cada coluna da matriz são utilizados para converter todos os atributos à mesma escala equiparável.

Visto que o objetivo para este sub-problema não é obter uma única alternativa melhor mas sim o conjunto das melhores, a análise de dominâncias não é utilizada pois poderia excluir, por exemplo, a segunda melhor alternativa, algo que não é desejado. Desta forma o passo 6 é passado à frente.

Por último lugar, de forma a obter um ranking foi feita a média ponderada para cada alternativa. Os resultados obtidos serão posteriormente demonstrados e analisados no capítulo 5.

Devido à existência de apenas 3 critérios, vai poder ser feita uma análise de sensibilidade TRIDENT, que permite analisar a sensibilidade dos pesos atribuídos aos 3 critérios simultaneamente, [10]. Esta consiste, em primeiro lugar, na determinação das retas de igualdade de média ponderada de cada combinação de duas alternativas, denominadas retas de indiferença.

Considere-se o seguinte exemplo de matriz final de avaliações do SMART para melhor ilustrar a metodologia TRIDENT.

Tabela 3.1: Resultados modelo 2

	C_1	C_2	C_3	Rank
A_1	a	b	c	x
A_2	d	e	f	y
Pesos	P_1	P_2	$1 - P_1 - P_2$	

Na tabela 3.1 temos: A_1 e A_2 são duas alternativas; C_1 , C_2 e C_3 são os três critérios nas quais se avaliaram as alternativas; a, b, c, d, e, f são os valores dessas avaliações e por último os pesos P_1 , P_2 e $1 - P_1 - P_2$ foram os utilizados para obtenção dos ranks x e y .

As retas de indiferença são determinadas da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 a \cdot P_1 + b \cdot P_2 + c \cdot (1 - P_1 - P_2) &= d \cdot P_1 + e \cdot P_2 + f \cdot (1 - P_1 - P_2) \Leftrightarrow \\
 (a - d) \cdot P_1 + (b - e) \cdot P_2 + (c - f) \cdot (1 - P_1 - P_2) &= 0 \Leftrightarrow \\
 (a - d) \cdot P_1 + (b - e) \cdot P_2 + (c - f) - (c - f) \cdot P_1 - (c - f) \cdot P_2 &= 0 \Leftrightarrow \\
 (a - d - c + f) \cdot P_1 + (b - e - c + f) \cdot P_2 + (c - f) &= 0 \quad (3.3)
 \end{aligned}$$

Este processo será repetido tantas vezes quantas as combinações de alternativas. As análises apresentadas no capítulo 5 requerem 10 retas, já que a análise é feita para um conjunto de 5 alternativas. O passo seguinte será colocar todas as retas de indiferença de combinações de alternativas num software à escolha, o utilizado nesta dissertação foi o Geogebra. Apenas será considerado o primeiro quadrante já que os pesos a utilizar estarão entre 0 e 1, e o eixo horizontal será os valores para P_1 enquanto que o vertical será para P_2 . Coloca-se também a delimitação do triângulo no qual podem variar os pesos P_1 e P_2 e o ponto correspondente à aos pesos da solução inicial obtida no SMART, o ponto (P_1, P_2) , de forma a determinar se esta solução é, ou não, robusta.

Para avaliar a robustez de uma solução basta então verificar a vizinhança do ponto no referencial correspondente à combinação de pesos escolhida: se existir uma reta de indiferença próxima diz-se que a solução não é robusta. Para além disso, uma solução é mais robusta que outra se se encontrar mais afastada das retas de indiferença, o que significa que podem ser encontradas várias soluções robustas, umas mais que outras, delimitadas pelos eixos de referencial cartesiano e pelas retas de indiferença, cujos pesos podem coordenadas do polígono delimitado, com um grau suficiente de margem que é subjetivo à sensibilidade de quem efetua esta análise.

No fim deste procedimento resta apenas apresentar os resultados aos Decisores, indicar quais as ordenações robustas e a decisão final será assim mais informada pela utilização desta técnica.

3.2 Modelos de localização

A teoria de localização e modelação tem as suas raízes no trabalho de Weber [18] que considerou o problema de localizar uma única instalação de forma a minimizar a distância total entre o local e um conjunto de clientes.

A utilização de modelos de localização é pertinente nas mais diversas áreas, por exemplo, com o aumento de veículos elétricos no corrente mercado, é preciso uma boa distribuição de estações de carregamento, e foi esse o trabalho de Baouche et. al. [3]. Na área de transportes de cargas perigosas, também é utilizada teoria de localização, [7]. Hong e Kuby [11] focaram-se num modelo de localização baseado em fluxos para a construção de estações de combustíveis alternativos. Um último exemplo é a organização de hospitais em redes, por Mestre et.al [14], com modelos hierárquicos.

No âmbito desta dissertação será necessário trabalhar com múltiplos objetivos a minimizar ou maximizar, pelo que a consulta do trabalho de Current et. al [5] é pertinente.

Desde o trabalho de Weber existiu um grande desenvolvimento desta área. Em 2008, Daskin propõe uma taxonomia dos modelos de localização modernos, que se podem dividir em quatro grandes áreas: modelos analíticos, modelos contínuos, modelos de rede e modelos discretos, [6]. Para estes últimos, são ainda subdivididos em três categorias (figura 3.1).

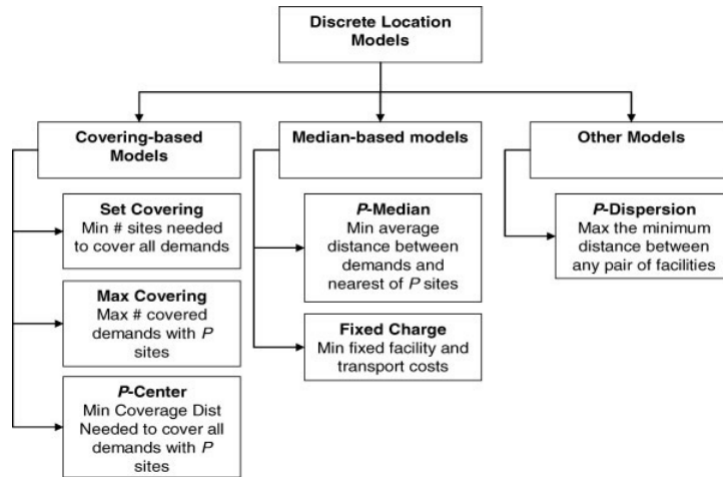


Figura 3.1: Categorias dos Modelos de Localização Discretos, [6]

No que se refere aos modelos discretos, Current et. al. apresentam vários modelos, áreas de aplicação e ainda métodos utilizados para os resolver, como heurísticas e relaxação lagrangeana [4].

É de destacar na figura 3.1 os modelos baseados em cobertura, já que pretendemos cobrir o maior número de hospitais possível, sendo estes os modelos mais alinhados com os objetivos. As variáveis a utilizar, restrições e função objetivo serão posteriormente explicitadas.

3.2.1 Modelos Utilizados

Após a revisão de literatura e análise de quais modelos seriam mais apropriados, irão ser apresentados, descritos e formulados os modelos utilizados para esta dissertação em subsequentes secções.

3.2.1.1 Modelo 1: modelo de cobertura de conjuntos

Este primeiro modelo, baseado no modelo Set Covering [6], tem como objetivo minimizar o número de localizações utilizadas para cobrir todos os 49 hospitais do sistema nacional de saúde com pediatria. Estamos assim a supor que as equipas de doutores palhaço podem estar localizadas em qualquer um dos 18 distritos de Portugal continental e utiliza-se como "covering distance" um tempo de viagem máximo, estabelecido pela ONV (parâmetro D^c). Posteriormente, é possível estudar o que acontece quando se altera esse parâmetro, seja para aumentar ou diminuir as horas de viagem que as equipas podem fazer.

Consideramos a seguinte notação para o modelo 1:

- I : Conjunto dos índices i das localizações possíveis para equipas de doutores palhaços;
- J : Conjunto dos índices j dos hospitais considerados para visitar;
- t_{ij} : Parâmetro que indica o tempo de viagem entre a localização i e o hospital j ;
- D^c : Coverage distance, escalar que é indicativo do tempo máximo de viagem permitido entre localização e hospital;
- S_j : Conjunto dos índices de localizações que podem cobrir o hospital j . É definido como $S_j = \{i \in I : t_{ij} \leq D^c\}$;
- x_i : Variável binária de decisão, tal que $x_i = 1$ indica que a localização i é utilizada e $x_i = 0$ caso contrário.

O modelo que permite minimizar o número de localizações nas quais estão equipas para visitar todos os hospitais candidatos (os polos), pode-se formular como:

$$\text{Min} \quad \sum_{i \in I} x_i \quad (3.4)$$

$$\text{s.a.} \quad \sum_{i \in S_j} x_i \geq 1 \quad \forall j \in J \quad (3.5)$$

$$x_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I \quad (3.6)$$

onde (3.4) é a função objetivo, onde se minimiza o número total de localizações utilizadas, o conjunto de condições (3.5) garante que para cada hospital j existe uma localização i possível para o cobrir e (3.6) é o domínio das variáveis de decisão.

Para além da formulação apresentada, é também desejável obter uma planificação de quais as localizações que servem quais hospitais, bem como garantir que cada hospital é visitado uma e uma só vez. Para que seja mais fácil perceber a afetação entre localizações e hospitais, o modelo anterior foi estendido. É de notar que existe uma relação direta entre localizações e equipas. O objetivo será utilizar o mínimo de localizações mas em cada localização poderá ser contratada mais que uma equipa. Isso será decidido pela ONV posteriormente de acordo com as necessidades de cada novo polo, já que cada equipa poderá apenas visitar um ou dois hospitais em cada semana, de acordo com o número de visitas semanais que for estabelecido.

Desta forma, em adição à notação anteriormente referida considera-se ainda:

- a_{ij} : Variável binária cujo valor é 1 se a localização i está dentro da coverage distance em relação ao hospital j , ou seja, é 1 se o hospital j pode ser visitado por uma equipa em i , e 0 caso contrário;

- aux_{ij} : Variável binária auxiliar que indica o produto de a_{ij} com x_i , $aux_{ij} = 1$ se $x_i = 1$ e $a_{ij} = 1$, 0 caso contrário;
- v_{ij} : Variável binária tal que $v_{ij} = 1$ indica que o hospital j é visitado por uma equipa localizada em i , 0 caso contrário.

O novo modelo, que é aquele que será considerado como modelo 1 daqui por diante, é formulado pela função objetivo (3.7) e as restrições (3.8) a (3.16).

A função objetivo (3.7) é idêntica à função objetivo (3.4). Os conjuntos de condições (3.8) a (3.10) correspondem a estar a calcular o produto de a_{ij} com x_i para indicar as visitas viáveis. A condição (3.11) limita as visitas reais pelo que é viável, sendo que em (3.12) limita-se que cada hospital é visitado por uma e uma só equipa. Por último temos as condições de restrição de domínios, de (3.13) a (3.16).

$$\text{Min } \sum_{i \in I} x_i \quad (3.7)$$

$$\text{s.a. } aux_{ij} \leq x_i \quad \forall i \in I; \forall j \in J \quad (3.8)$$

$$aux_{ij} \leq a_{ij} \quad \forall i \in I; \forall j \in J \quad (3.9)$$

$$aux_{ij} \geq x_i + a_{ij} - 1 \quad \forall i \in I; \forall j \in J \quad (3.10)$$

$$v_{ij} \leq aux_{ij} \quad \forall i \in I; \forall j \in J \quad (3.11)$$

$$\sum_{i \in I} v_{ij} = 1 \quad \forall j \in J \quad (3.12)$$

$$x_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I \quad (3.13)$$

$$a_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I; \forall j \in J \quad (3.14)$$

$$aux_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I; \forall j \in J \quad (3.15)$$

$$v_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I; \forall j \in J \quad (3.16)$$

3.2.1.2 Modelo 2: minimização dos tempos de viagem

Este segundo modelo é baseado no último. Para além de querermos que cada hospital seja visitado uma e uma só vez, temos agora como objetivo utilizar o mínimo de horas de viagem para o concretizar.

Todas as condições do modelo, seja as de cobertura (3.12), auxiliares ((3.8) a (3.11)) ou de domínio ((3.13) a (3.16)) são idênticas às do modelo anteriormente apresentado. A única alteração é na função objetivo, (3.17), que representa o objetivo pretendido desta vez e tem a formulação seguinte:

$$\text{Min } \sum_{i \in I, j \in J} t_{ij} v_{ij} \quad (3.17)$$

Nesta função objetivo fazemos a soma do produto entre o tempo de viagem entre uma localização e o hospital e a variável v que tem o valor 1 quando uma certa viagem é executada e 0 caso contrário. Isto resulta no tempo total dispendido em viagens até aos hospitais na afetação determinada pelo modelo.

3.2.1.3 Modelo 3: modelo bi-objetivo

O terceiro modelo tem como finalidade fazer uma combinação dos primeiros dois, pelo que teríamos uma formulação com duas funções objetivo. De modo a que o problema possa ser resolvido pelo software de forma a encontrar uma solução ótima, utiliza-se o método das restrições, ε -constraints.

O método das restrições permite tornar um problema multi-objetivo num problema uniobjetivo. Isso é feito, em primeiro lugar, escolhendo qual das funções objetivo é a mais importante, e tornando as outras em condições adicionais na formulação.

Neste caso, a função mais importante é a que minimiza o número de localizações (ou polos) que seriam necessários utilizar (expressão (3.7)), sendo a função objetivo do segundo modelo (expressão (3.17)) transformada em restrição impondo-se ao seu valor um limite máximo (parâmetro W).

Deste modo, a formulação deste modelo é a seguinte: a função objetivo é (3.7), igual à do primeiro modelo apresentado, representando que o objetivo principal é utilizar o mínimo de localizações possível; o modelo está sujeito às condições (3.5) a (3.16) tal como nos primeiros dois modelos e, por último, por resultado de aplicação do método das restrições é ainda acrescentada a equação (3.18) abaixo:

$$\sum_{i \in I, j \in J} t_{ij} v_{ij} \leq W. \quad (3.18)$$

3.2.1.4 Modelo 4: modelo de cobertura máxima

Por último, este quarto modelo permite uma abordagem diferente ao problema, sendo baseado no modelo Maximum Covering (figura 3.1). Agora o objetivo será chegar ao número máximo de camas pediátricas, existindo uma limitação a priori do número de localizações a utilizar, o que nos permite estudar o alcance que um certo número de localizações tem. É introduzida nova notação a acrescentar àquela utilizada anteriormente:

- P : Escalar que indica o número de localizações a utilizar;
- h_j : Parâmetro cujos valores indicam qual o número de camas pediátricas existentes no hospital j ;
- y_j : Variável binária que indica se o hospital j é visitado ou não, tomando o valor 1 quando o hospital j é visitado e 0 caso contrário.

A formulação do modelo que nos permitirá atingir o objetivo pretendido é a apresentada abaixo.

Em primeiro lugar formula-se a função objetivo, que difere das anteriores, sendo agora

$$\text{Max} \quad \sum_{j \in J} h_j y_j \quad (3.19)$$

O primeiro conjunto de condições ao qual o objetivo está sujeito é a restrição do número de localizações, com a equação (3.20).

$$\sum_{i \in I} x_i = P \quad (3.20)$$

A condição de cobertura que anteriormente tinha sido uma igualdade estrita a um neste momento será relaxada para a desigualdade $\leq$, significando que agora há hospitais que podem não ser visitados. Fica:

$$\sum_{i \in I} v_{ij} \leq 1 \quad \forall j \in J \quad (3.21)$$

Para impedir que todos os hospitais sejam selecionados pela variável y_j mesmo que não haja visitas atribuídas, é necessário utilizar como restrição a equação (3.22).

$$y_j - \sum_{i \in I} v_{ij} \leq 0 \quad \forall j \in J \quad (3.22)$$

Em último lugar é necessário acrescentar restrições de domínio para a variável introduzida, y_j , adicionando a equação (3.23).

$$y_j \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J \quad (3.23)$$

Em suma, a formulação completa deste quarto modelo é descrita da seguinte forma: temos que a função objetivo (3.19) maximiza a soma ponderada das visitas aos hospitais, na qual a ponderação é feita pelos parâmetros h_j , o número de camas pediátricas em cada um dos hospitais; o conjunto de condições (3.20) é aquele que torna este modelo num maximal covering, limitando o número de localizações a utilizar pelo escalar P a ser alterado; de seguida temos as condições de (3.5) a (3.10), idênticas às dos outros modelos apresentados; como agora cada hospital é visitado no máximo 1 vez, em alternativa ao anteriormente considerado de existir exatamente uma visita segue-se a condição (3.21); depois tem-se o conjunto de condições (3.22), que impedem que a variável y_j tenha o valor de 1 caso nenhuma visita esteja alocada ao hospital j ; por último temos cinco conjuntos de restrições dos domínios das variáveis, de (3.6) a (3.15) já utilizados e o novo (3.23).

A metodologia SMART e os quatro modelos apresentados serão o que permitirá responder aos objetivos estabelecidos inicialmente e que vão ao encontro das necessidades

da ONV. Um último passo antes da implementação será a identificação de todos os dados necessários à mesma, nomeadamente os conjuntos para índices, dados específicos de cada hospital e tempos de viagem, o que será abordado no capítulo seguinte.

DADOS

Este capítulo dedica-se à apresentação e descrição dos datasets de onde foi extraída informação necessária a utilizar tanto na aplicação da técnica SMART como para os modelos de localização. Além disso, serão também apresentados e descritos os atributos utilizados para o SMART, de onde foi extraída a informação e o seu significado no contexto do problema.

4.1 Datasets

4.1.1 Mapeamento Geral ONV 2021

A equipa do Centro de Estudos e Pesquisa da ONV forneceu um conjunto de dados utilizados num estudo interno, que foi essencial para o início da implementação de métodos.

A folha de cálculo utilizada tinha os dados sobre todos os hospitais de serviço público portugueses acerca de algumas categorias, nomeadamente: região geográfica, nome do hospital, se já é visitado pela ONV, se tem pediatria, quantas camas disponíveis tem e quais os serviços que são/poderiam ser visitados.

Estes dados são o que permite dar início à recolha de informação para o SMART.

4.1.2 Taxa de Ocupação

Dado que a informação pretendida para um dos atributos era o número médio de camas ocupadas, era ainda necessário obter informação acerca das taxas de ocupação dos hospitais considerados.

Estes dados foram obtidos em [2]. Foi obtido um ficheiro CSV onde constava o nome de cada hospital, localização geográfica (coordenadas de latitude e longitude) e a taxa de ocupação, datado de janeiro de 2023.

4.1.3 Mapeamento de visitas

Proveniente do relatório anual de 2020 da ONV, veja-se abaixo na tabela 4.1 os hospitais já abrangidos pelo programa e respetivo planeamento de visitas.

Tabela 4.1: Plano de visitas dos Doutores Palhaços em 2020, [1]

Hospitais Abrangidos	Dias da Semana				
	2ª f	3ª f	4ª f	5ª f	6ª f
Ct. Hospitalar Barreiro-Montijo		●			
Ct. Hospitalar Gaia-Espinho	●				
Ct. Materno-Infantil do Norte		●		●	
Ct. Medicina de Reabilitação de Alcoitão				●	
Hospital Amadora-Sintra		●		●	
Hospital Beatriz Ângelo		●			
Hospital D.Estefânia	●	●		●	
Hospital de Braga		●			
Hospital de Cascais				●	
Hospital de Santa Marta		●			
Hospital Garcia de Orta	●				
Hospital Pediátrico de Coimbra, CHUC		●		●	
Hospital S. João	●			●	
Hospital S. Francisco Xavier	●				
Hospital de Santa Maria	●	●			
IPO Lisboa	●			●	
IPO Porto	●			●	

Após a pandemia retornou-se, em finais de 2021, novamente a este plano de visitas presenciais a todos os 17 hospitais.

4.2 Metodologia SMART

Para a construção do modelo de apoio à decisão utilizando a técnica SMART foram utilizados dados provenientes de ambos os datasets e ainda informação complementar:

- Alternativas: Hospitais com serviço de pediatria, excluindo Ilhas;
- Número médio de camas ocupadas: Produto entre os valores totais de camas pediátricas de cada hospital, pelas respetivas taxas de ocupação médias referentes a 2022;
- Número de serviços: Quantidade de serviços que a ONV poderia visitar num dado hospital. Estes dados são fornecidos pela ONV;
- Horas de viagem polo mais próximo: Tempo de viagem, em horas, necessário para se chegar ao polo mais próximo vindo de cada um dos hospitais. Este atributo será melhor explicitado abaixo.

A informação necessária para ser determinado o último atributo, as horas de viagem ao polo mais próximo, são provenientes do ficheiro de taxas de ocupação e também do Google Maps. A metodologia será descrita em seguida.

Em primeiro lugar foi necessário recolher todas as localizações geográficas dos 49 hospitais a considerar para este estudo, e para tal a informação proveniente do dataset 4.1.2 foi complementada com o Google Maps no caso em que alguns hospitais provenientes do mesmo centro hospitalar teriam sido atribuídos localizações erradas. Com todos os valores de latitude e longitude dos hospitais, foi também recolhido no Google Maps as coordenadas dos dois polos da ONV: Lisboa e Porto. Depois existia a necessidade de determinar quanto tempo demoraria entre todas as coordenadas, algo que foi possível recorrendo ao Google Maps API, que retorna o tempo de uma rota no meio de transporte preferencial (carro, neste caso) entre cada hospital e ambos os polos.

De forma a automatizar este processo foi feito um script de linguagem R, no Rstudio, recorrendo aos seguintes packages:

- Googleway: Permite que o R obtenha informação proveniente do Google Maps API (inserir referência do package). A função `google_directions` toma como valores de entrada a origem (ambos os polos), o destino (hospitais), método de transporte, unidades e uma API Key necessária para a sua utilização. Retorna assim, entre outros, os tempos de viagem necessários;
- Readxl: Utilizado para permitir que o R leia documentos com extensões de Excel. A informação de coordenadas geográficas dos hospitais foi colocada num ficheiro Excel posteriormente lido pelo ciclo que calcula os tempos;

- Writexl: Torna possível que resultados no R possam ser exportados num formato de Excel. Foi utilizado para que, no final dos ciclos, os tempos de viagem fossem retornados numa tabela de dimensão 2x49.

O último passo para se chegar aos valores corretos foi apenas o cálculo do mínimo do tempo de viagem para os polos para cada hospital.

Como serão considerados no final do ranking só os hospitais ainda não visitados, a matriz foi construída inicialmente incluindo os 17 hospitais visitados, mas excluindo os 4 das Ilhas. Assim, tínhamos numa primeira fase 49 linhas e 4 colunas na matriz, o que conclui o passo 4 da metodologia (ver passos em 3.1.1).

Antes da conversão para critérios, foi ainda colocada uma restrição adicional: seriam excluídas as alternativas cujas horas de viagem ao polo mais próximo fosse superior a 1.5 horas. Este valor foi acordado com a equipa do Centro de Estudos e Pesquisa da ONV, e coincide com a coverage distance (parâmetro D^c) utilizada posteriormente nos modelos de localização, o que reduz de 49 alternativas para 39 a considerar.

Sendo o objetivo posterior a utilização de análise de sensibilidade aos pesos dos critérios simultaneamente, os pesos atribuídos inicialmente foram $\frac{1}{3}$ para todos os critérios.

Uma última observação para a análise TRIDENT é que para efeitos desta dissertação podemos considerar 0.06 unidades uma margem adequada para afirmar que pequenas flutuações não afetam a solução determinada.

4.3 Modelos de Localização

Em relação aos modelos de localização, existem os seguintes parâmetros cuja origem se explicita abaixo:

- t_{ij} : Os tempos de viagem entre as localizações e os hospitais foram determinados utilizando o script no Rstudio descrito na secção 4.2 com a devida alteração das origens para obtenção de uma matriz de dimensão 18x49 de tempos;
- D^c : A coverage distance é um parâmetro que surgiu de discussão do plano de expansão diretamente com a equipa do centro de estudos e pesquisa da ONV. O seu valor irá ser alterado de forma a serem observadas variações de soluções ótimas mudando apenas este escalar, cujo valor inicial, e aquele que é o foco, é uma hora e meia, ou seja $D^c = 1.5$;
- h_j : Número de camas pediátricas existentes em cada hospital j , dados provenientes do dataset apresentado na secção 4.1.1.

Em último lugar existem ainda alguns dados que foram necessários utilizar: estão a ser considerados todos os 18 distritos de Portugal Continental e 49 hospitais de território Continental que têm serviço de pediatria, daí a dimensão da matriz de tempos mencionada

acima.

No próximo capítulo irão ser apresentados os resultados detalhadamente de todos os modelos, de forma a fornecer à ONV o maior volume possível de informação a fim de que esta possa tomar decisões mais fundamentadas.

ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos por aplicação dos métodos explicitados no capítulo 3. Começamos por apresentar e analisar os resultados da metodologia SMART para procurar um conjunto de hospitais a serem selecionados para a próxima fase da expansão das visitas e verificar a robustez das soluções obtidas. Depois serão apresentados os vários resultados dos quatro modelos de localização utilizados e extraídas conclusões relevantes no contexto de cada objetivo e conjunto de condições propostas.

5.1 SMART e TRIDENT

Aqui serão apresentados resultados e conclusões relativamente ao ranking elaborado com o SMART e posterior análise de sensibilidade TRIDENT.

Em primeiro lugar, ordenamos a matriz final do SMART por ordem decrescente de ranking para uma mais fácil visualização.

Tabela 5.1: Matriz final ordenada, excerto

Hospital	Nº Méd. Camas	Nº Serviços	Tempo Viagem	Rank
Hospital Dona Estefânia	1	1	0,916	0,972
Hospital Fernando Fonseca	0,4799	0,5	0,975	0,651
...		...		
Hospital Santo André, Leiria	0,350	0,333	0,043	0,242
Hospital Figueira da Foz	0,017	0,667	0,020	0,234
Pesos	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	

Na tabela 5.1 pode-se observar parte da matriz final do SMART na qual constam os

hospitais, as avaliações standartizadas para os três critérios e também o valor de rank obtido com os pesos referidos na última linha. É possível desde já verificar a disparidade de valores de ranking entre o primeiro e segundo hospitais da lista. Isto mostra que, atendendo às escolhas de polos atuais Lisboa e Porto, o Hospital Dona Estefânia é mesmo o principal candidato a receber visitas, caso ainda não fizesse parte do programa. Sendo aquele que engloba o maior número médio de camas ocupadas (valor do critério igual a 1), justifica-se no mapeamento da ONV serem efetuadas 3 visitas semanais, o único que até ao momento tem tantas visitas pelas necessidades e dimensões.

Dos 10 hospitais com maior pontuação, 7 deles já são visitados pela ONV, o que permite validar a adequação dos critérios utilizados para a classificação. Dos 3 não ainda visitados, 2 deles fazem parte da região Norte do país. Estas observações levam à extração de dois conjuntos de Top 5 para avaliação da sensibilidade dos pesos dos critérios: os 5 hospitais melhores classificados que ainda não são visitados, qualquer que seja a região, e os 5 hospitais melhor classificados ainda não visitados com a restrição adicional de serem da região norte (tabela 5.2). As avaliações serão feitas com um conjunto de 5 hospitais por dois motivos: a expansão das visitas será algo feito de forma faseada, pelo que faz sentido identificar um pequeno conjunto de hospitais que melhor se classificam, e esse conjunto será 5 elementos; outro motivo será a complexidade da avaliação quando existem demasiadas alternativas, já que é necessário fazer todas as combinações entre as mesmas. Um conjunto de 5 hospitais significa que são utilizadas $\binom{5}{2} = 10$ retas de indiferença para efetuar a análise, cuja complexidade aumenta significativamente com o número de retas. Ao selecionar um conjunto com apenas mais um hospital, ou seja um total de 6, o número de retas de indiferença já seria 15, tornando o processo mais demorado e pouco mais informativo.

Tabela 5.2: Hospitais melhor classificados e respetivos valores de rank

Top 5 Geral		Top 5 Norte	
Hospital Santa Cruz	0.638	Hospital São Sebastião	0.592
Hospital São Sebastião	0.592	Hospital Padre Américo	0.549
Hospital Padre Américo	0.549	Hospital Pedro Hispano	0.544
Hospital Infante D.Pedro	0.546	Hospital da Póvoa de Varzim	0.504
Hospital Pedro Hispano	0.544	Unidade Hospitalar de Famalicão	0.461

Foram então realizadas duas análises de sensibilidade TRIDENT, nas quais são considerados como P_1 o peso relativamente ao critério "Número médio de camas ocupadas" e P_2 o peso relativamente ao critério "Número de Serviços".

Na figura 5.1 apresentam-se os gráficos TRIDENT relativos ao conjunto de Top 5 geral (a) e ao conjunto Top 5 Norte (b). Note-se que foram utilizadas diferentes cores para cada reta de indiferença, o ponto correspondente aos pesos da solução inicial é marcado a azul escuro e foram sombreadas e identificadas algumas áreas (cuja relevância será posteriormente explicada).

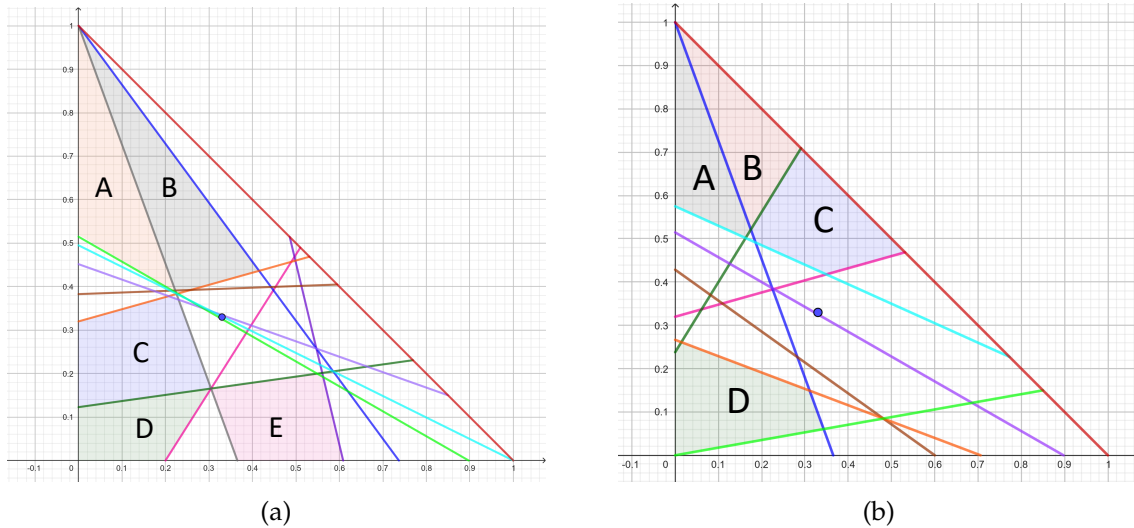


Figura 5.1: Análise Trident: (a) Top 5 Geral, (b) Top 5 Norte

A primeira observação relevante, válida para ambas as imagens, é que a solução obtida inicialmente não é robusta. No caso do Top 5 geral (figura 5.1(a)) o ponto com os pesos utilizados está localizado muito próximo de interseções de três retas de indiferença, o que indica que pequenas flutuações nos valores dos pesos irão alterar ordenação dos hospitais. Similarmente para o caso do Top 5 norte (figura 5.1(b)) o ponto está diretamente acima da reta de indiferença que corresponde aos Hospitais Padre Américo e Pedro Hispano, logo também conduz a uma ordenação pouco robusta. Alternativamente considerando pesos localizados no interior das áreas destacadas coloridas, existe alguma margem para flutuações pelo que são identificadas várias possíveis ordenações robustas. Estes exemplos foram escolhidos pelo motivo das áreas dos polígonos que os caracterizam serem relativamente elevadas, quando comparadas com as restantes. A sensibilidade de cada um poderia levar à seleção de mais ou menos áreas e, consequentemente, ordenações robustas possíveis.

Começando pelas ordenações para o Top 5 geral, tem-se os seguintes exemplos robustos:

- **Área A:** Aqui a ordenação dos hospitais é Santa Cruz, Infante D. Pedro, Padre Américo, Pedro Hispano e por último São Sebastião. Para obter esta ordenação com alguma margem para flutuações pesos possíveis poderiam ser o conjunto (0.08, 0.6,

0.32), ou seja, o critério mais importante é o número de serviços (com um peso de 0.6), de seguida é o tempo de viagem ao polo mais próximo (com peso de 0.32) e por último o critério de número médio de camas ocupadas (com peso de 0.08);

- **Área B:** Separada da área A pela reta de indiferença entre os hospitais São Sebastião e Pedro Hispano, pelo que a ordenação fica Santa Cruz, Infante D. Pedro, Padre Américo, São Sebastião e Pedro Hispano. Pesos possíveis neste caso seriam o conjunto (0.24, 0.54, 0.22). Em semelhança à área A o critério que aqui seria considerado mais importante seria o número de serviços, mas desta vez os outros dois teriam uma importância semelhante, com uma ligeira preferência pelo primeiro critério. Esta troca de preferências significa a ordenação diferir da anterior nos dois últimos hospitais;
- **Área C:** A ordenação aqui correspondente é Santa Cruz, Pedro Hispano, São Sebastião, Padre Américo e Infante D. Pedro. O polígono aqui delimitado é o de maior área neste caso, pelo que os pesos P_1 e P_2 têm uma maior margem de flutuação sem que a ordenação se altere. Uma possível combinação dos três pesos para obter esta solução seria (0.14, 0.24, 0.62). O destaque aqui seria a grande preferência por tempos de viagem mais curtos;
- **Área D:** A passagem da área C para D dá-se pela reta de indiferença dos hospitais Santa Cruz e Pedro Hispano, resultando a ordenação Pedro Hispano, Santa Cruz, São Sebastião, Padre Américo e Infante D. Pedro. Um conjunto de pesos associado poderá ser (0.16, 0.08, 0.76);
- **Área E:** Por último, destaca-se a área E com a ordenação São Sebastião, Pedro Hispano, Santa Cruz, Padre Américo e Infante D. Pedro, com o conjunto de pesos (0.4, 0.1, 0.5).

Cabe agora aos decisores determinar qual será a ordenação preferencial, com base nestes resultados acima referidos e a sua preferência relativa aos critérios, já que o peso maior indica o critério mais importante.

Para o caso do critério considerado destacadamente mais importante ser o "Número médio de camas ocupadas", correspondente ao P_1 , temos a área E na qual iríamos começar a expansão pelo Hospital de São Sebastião.

Dando a maior importância ao critério "Número de serviços", associado ao peso P_2 , as áreas de destaque são A e B pelo que a primeira opção para o programa de visitas expandido seria o Hospital de Santa Cruz.

Por último se o critério mais importante for relativo aos tempos de viagem para o polo mais próximo, tem-se valores pequenos para os pesos P_1 e P_2 salientando-se as áreas C e D, nas quais a reta de indiferença que as separa indica que o próximo hospital a ser visitado poderia ser ou Santa Cruz ou Pedro Hispano.

O facto do Hospital de Santa Cruz ser o primeiro da ordenação de três das cinco áreas destacadas é indicador de que este seria um bom ponto de partida para a expansão das visitas da ONV. Isso pode ser melhor ilustrado pelos gráficos da figura 5.2 onde são destacados o melhor e os dois melhores classificados em cada área:

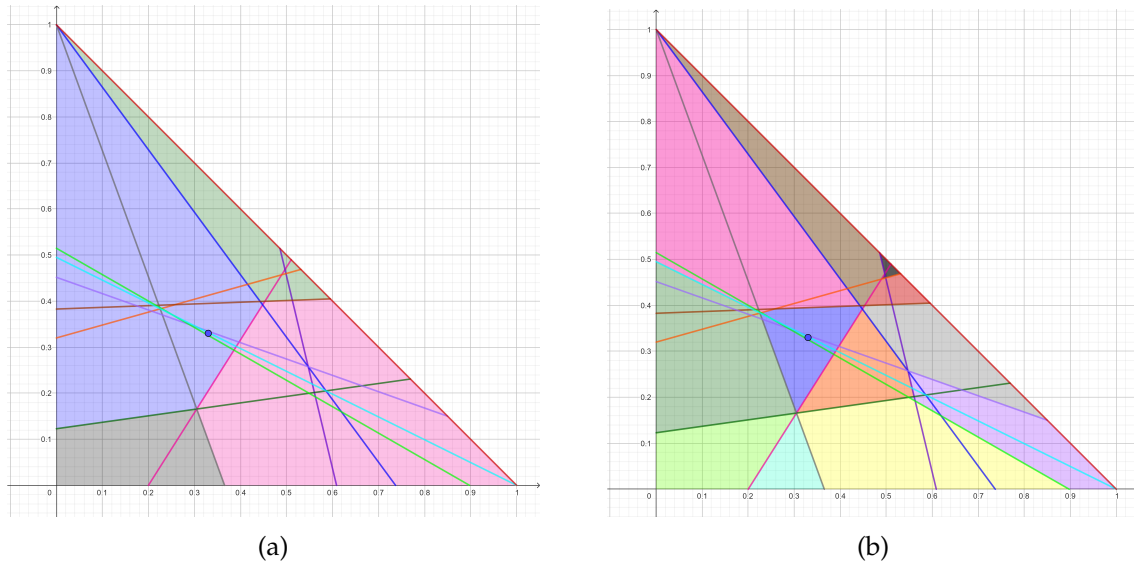


Figura 5.2: Análise Trident: (a) Melhor classificado, (b) Dois melhores classificados

Focando primeiro apenas no hospital melhor classificado (figura 5.2(a)) tem-se um total de 4 grandes polígonos que cobrem todas as combinações de pesos ($P_1, P_2, 1-P_1 - P_2$) possíveis. A área a azul escuro corresponde ao hospital Santa Cruz, a verde tem-se o hospital Infante D. Pedro, a cinzento o hospital Pedro Hispano e a rosa o hospital São Sebastião. As dimensões dos polígonos apresentados corroboram afirmações anteriores: o hospital de Santa Cruz é aquele que seria ideal para iniciar uma primeira fase de expansão, caso se dê preferência maior ao critério "número de serviços" ou então o hospital São Sebastião se a maior importância for dada ao critério "número médio de camas ocupadas". A primeira escolha seria o hospital Infante D. Pedro ou Pedro Hispano apenas para uma região de combinação de pesos pequena. Nota-se ainda que deste conjunto de cinco hospitais o primeiro candidato à inclusão no programa de visitas nunca seria o hospital Padre Américo.

As quatro áreas destacadas à esquerda subdividem-se em doze polígonos (figura 5.2(b)). Nas regiões nas quais o hospital de Santa Cruz é o melhor classificado (azul escuro à esquerda), tem-se os seguintes segundos classificados (na imagem da direita): Infante D. Pedro (a rosa); Pedro Hispano (verde escuro) e São Sebastião (azul escuro). O hospital Infante D. Pedro enquanto primeira escolha vem acompanhado de três outros hospitais: Santa Cruz (castanho); São Sebastião (vermelho) e Padre Américo (preto). As áreas em que o hospital Pedro Hispano tem o melhor rank são verde claro e azul claro, correspondendo

ao hospital de Santa Cruz e São Sebastião, respetivamente, como segundo lugar na ordenação. Finalmente tem-se os conjuntos top 2 nos quais São Sebastião é o melhor classificado, em que o segundo hospital é: Santa Cruz (laranja); Padre Américo (lilás); Infante D. Pedro (cinzento) e Pedro Hispano (amarelo). Verificamos que as ordenações top 2 mais robustas são: Santa Cruz + Infante D. Pedro; Santa Cruz + Pedro Hispano e São Sebastião + Pedro Hispano. Caso a expansão se inicie com um conjunto de dois hospitais, estas análises TRIDENT indicam que as combinações mencionadas acima seriam as melhores. A escolha entre as três terá de ser decidida conforme a importância de cada critério, notando que se o mais importante for "número de serviços" Santa Cruz + Infante D. Pedro seria a eleição, ao passo que "número médio de camas ocupadas" ser mais importante indicaria a seleção São Sebastião + Pedro Hispano. Novamente verificamos que no conjunto dos 5 hospitais Padre Américo tem uma classificação em geral mais baixa, já que nunca é o melhor classificado e quando é o segundo melhor classificado a margem para os pesos é muito pequena (áreas a preto e lilás).

Agora vejamos os exemplos de ordenações robustas apenas para a zona Norte do país, com base na figura 5.1(b):

- **Área A:** Nesta zona temos a ordenação Padre Américo, Póvoa de Varzim, Pedro Hispano, São Sebastião e Famalicão. De forma a obter este resultado um conjunto possível de pesos a considerar é (0.06, 0.64, 0.3) na mesma ordem já utilizada anteriormente;
- **Área B:** Aqui a ordenação é alterada pela passagem pela reta de indiferença entre os hospitais São Sebastião e Pedro Hispano, tendo-se a ordenação Padre Américo, Póvoa de Varzim, São Sebastião, Pedro Hispano e Famalicão. Podem ser considerados os pesos (0.2, 0.7, 0.1) para concretizar este cenário;
- **Área C:** Passamos para esta área a partir de B cruzando a reta de indiferença dos hospitais São Sebastião e Póvoa de Varzim ficando com a ordem Padre Américo, São Sebastião, Póvoa de Varzim, Pedro Hispano e Famalicão. Aqui os pesos poderiam ser, por exemplo, (0.4, 0.5, 0.1);
- **Área D:** Em último lugar para esta análise considera-se a área D, na qual a ordenação de alternativas fica Pedro Hispano, São Sebastião, Póvoa de Varzim, Famalicão e Padre Américo. A esta ordenação podemos associar os pesos (0.2, 0.1, 0.7).

Tal como no caso do Top 5 geral a ordenação preferencial será determinada pelos decisores conforme os pesos escolhidos para cada critério. As análises Trident permitem uma decisão mais informada por apresentar todos os cenários possíveis para as combinações de pesos.

Se se considerar que o "número médio de camas ocupadas" é um critério igualmente ou mais importante que o "número de serviços", ou seja escolher um valor para P_1 igual

ou superior a P_2 , das áreas destacadas teríamos a D, cuja ordenação indica que se iniciaria a expansão do programa de visitas com o hospital Pedro Hispano.

Por outro lado, se o critério mais importante fosse destacadamente o "número de serviços", ou seja dar um valor a P_2 igual ou superior a 0.5, destacar-se-iam as áreas A, B e C mencionadas. Isso corresponde a expandir o programa de visitas primeiro no hospital Padre Américo e de seguida Póvoa de Varzim ou São Sebastião, de acordo com a importância do primeiro critério relativamente ao terceiro. Se o "número médio de camas ocupadas" for mais importante que o "tempo de viagem ao polo mais próximo" o segundo selecionado seria São Sebastião, e Póvoa de Varzim caso contrário.

Pode-se agora verificar as afirmações anteriores e quais os hospitais de destaque neste conjunto da região Norte, através dos gráficos TRIDENT que evidenciam o melhor e dois melhores classificados para qualquer combinação de pesos atribuída.

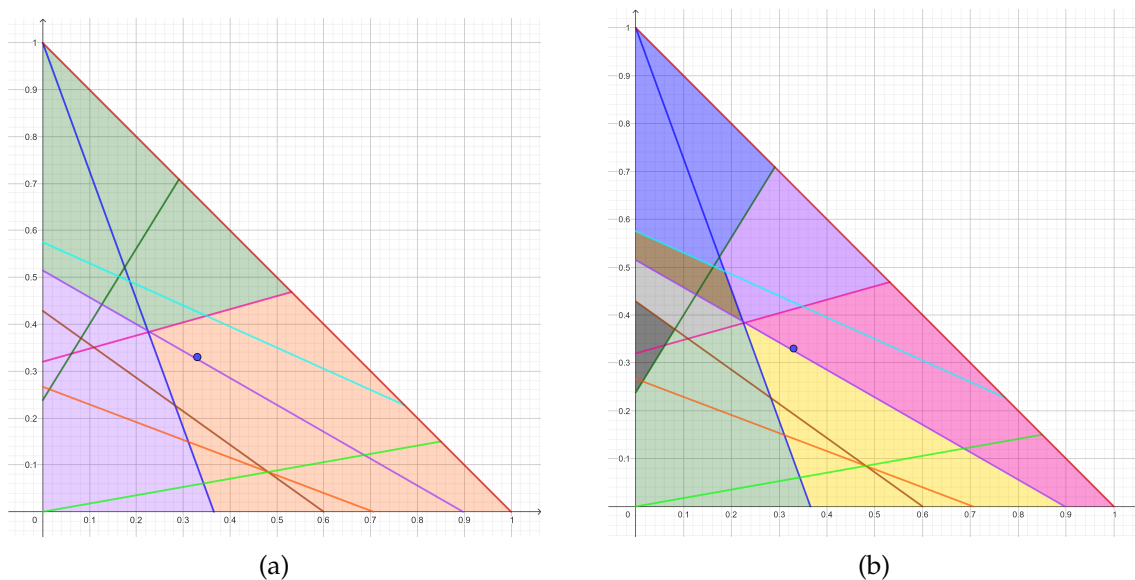


Figura 5.3: Análise Trident Norte: (a) Melhor classificado, (b) Melhores dois classificados

Desta vez podemos verificar que apenas 3 dos 5 hospitais podem ser o melhor classificado, dependendo dos pesos escolhidos (figura 5.3(a)). Eles são São Sebastião (laranja), Padre Américo (verde) e Pedro Hispano (roxo). As dimensões dos polígonos correspondentes indicam uma ligeira preferência pelo hospital São Sebastião, enquanto que o Pedro Hispano será o melhor em menos situações de escolha de pesos. Se o primeiro critério, associado a P_1 , for destacadamente mais importante a escolha clara será São Sebastião, enquanto que se P_2 for destacadamente mais elevado a escolha inicial seria o hospital Padre Américo. Por outro lado, existindo um maior equilíbrio na preferência dos três critérios, ou mesmo dando a maior importância aos tempos de viagem, que seria o peso $1 - P_1 - P_2$, a escolha seria Pedro Hispano.

Façam-se agora as observações relativas aos dois melhor classificados, analisando quais seriam as combinações de hospitais mais selecionadas de acordo com os pesos

escolhidos. Os três polígonos destacados na figura à esquerda subdividem-se em 8 na figura da direita (figura 5.3(b)). Começando pelos hospitais que sucederiam ao hospital São Sebastião, tem-se duas áreas, rosa e amarela, que correspondem, respetivamente, ao hospital Padre Américo e Pedro Hispano. Em combinação com o hospital Padre Américo em primeiro lugar, os segundos melhores classificados são: São Sebastião (roxo), Pedro Hispano (castanho) e Póvoa de Varzim (azul escuro). Por último o hospital Pedro Hispano, quando é o melhor classificado, vem acompanhado de três diferentes como segundos classificados: São Sebastião (verde), Padre Américo (cinzento) e Póvoa de Varzim (preto). Identificamos então que as combinações que seriam escolhidas por uma maior variedade de combinações de peso seriam São Sebastião + Padre Américo, São Sebastião + Pedro Hispano, e Pedro Hispano + São Sebastião. A escolha final seria com base na importância dos critérios tal como mencionado no parágrafo acima.

5.2 Modelos de Localização

Esta secção será subdividida para apresentar e analisar os resultados obtidos pelos quatro modelos anteriormente apresentados (capítulo 3).

A estrutura de cada secção é a seguinte: sucintamente descreve-se o objetivo do modelo e condições iniciais necessárias; são apresentados mapas, gráficos ou tabelas com os resultados das várias instâncias obtidas do modelo; são feitos comentários aos resultados obtidos no âmbito da expansão de visitas e da variação de resultados consoante variam os parâmetros utilizados e as implicações que isso tem.

Todos os modelos apresentados foram implementados no software GAMS, com o solver CPLEX (versão 40.4.0) num computador com um processador AMD Ryzen 5 3500X 6-Core 3.6GHz e 16GB de memória RAM.

5.2.1 Modelo 1: modelo de cobertura de conjuntos

Vejamos em primeiro lugar os resultados do modelo Set Covering (secção 3.2.1.1). O valor inicial para o parâmetro D^c foi 1.5, já que 1h30m foi o limite imposto pela ONV para viagens que os seus colaboradores poderiam fazer. Utilizando esse valor, o resultado foi 6 localizações: Aveiro, Bragança, Castelo Branco, Évora, Faro e Setúbal. Isto significa que para conseguir visitar todos os 49 hospitais é necessário que as equipas estejam, no mínimo, localizadas em seis distritos de Portugal Continental, comparativamente aos dois que existem atualmente, Lisboa e Porto.

O modelo foi instanciado com cinco cenários diferentes (figuras 5.4 e 5.5). O resultado já mencionado é para o caso do limite máximo de tempo de viagem de 1h30 (parâmetro D^c), e os outros quatro cenários vêm da variação desse parâmetro entre 1h e 2h, em

incrementos de 15 min para estudar o efeito desta variação na seleção de localizações para equipas de Doutores Palhaços.

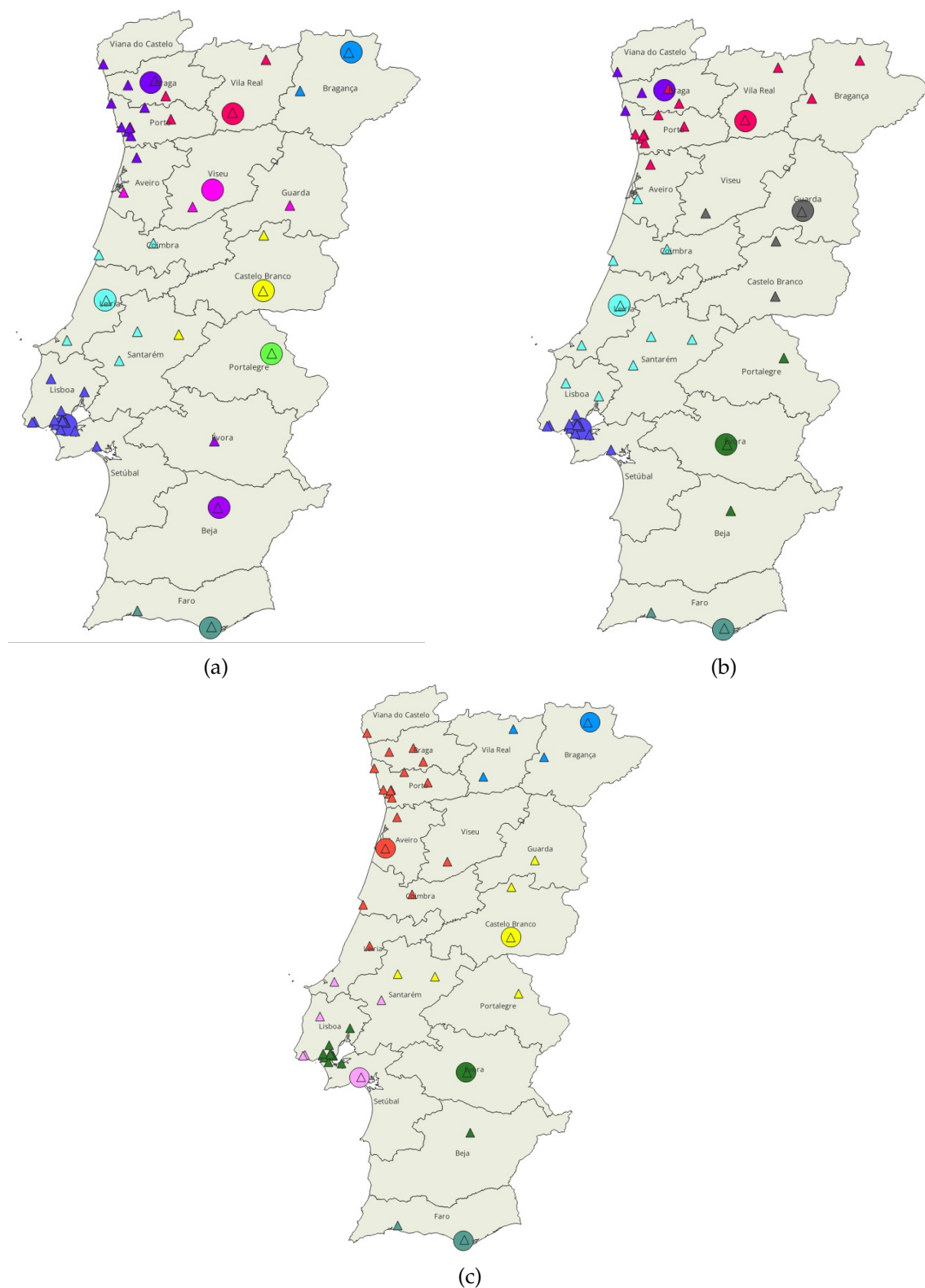


Figura 5.4: Mapas de cobertura: (a) $D^c = 1$; (b) $D^c = 1.25$ e (c) $D^c = 1.5$

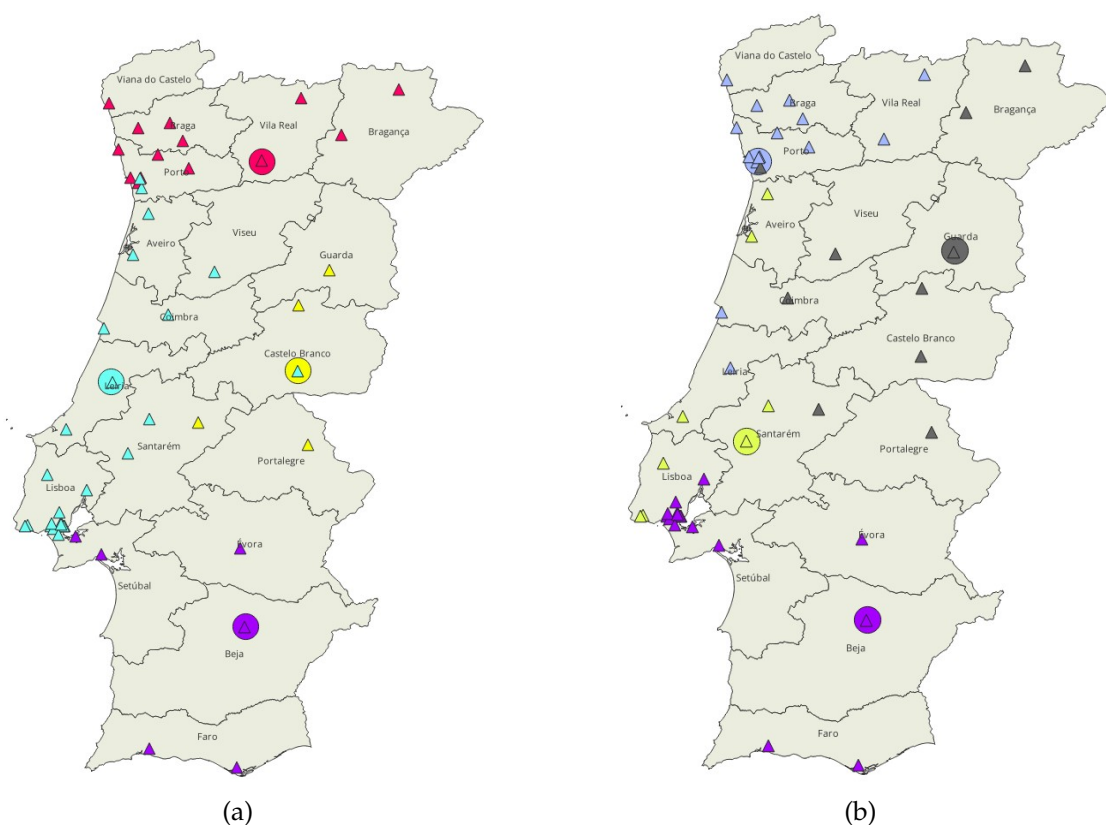


Figura 5.5: Mapas de cobertura: (a) $D^c = 1.75$ e (b) $D^c = 1.25$

Uma primeira conclusão que pode ser retirada da observação das figuras 5.4 e 5.5 é que em qualquer um dos casos, a combinação de Lisboa e Porto não existe para os casos ótimos encontrados pelo modelo. Em particular nenhuma destas localizações é selecionada para a solução ótima nos casos do tempo de viagem limitado a 1h30 e 1h45.

O número de localizações obtido serve como um guia do número mínimo de localizações necessárias a cobrir todo o país. É também indicativo de quais distritos conseguem servir o maior número de hospitais. Por exemplo, o distrito de Beja é selecionado em 3 dos 5 cenários estudados, e, em particular, para o caso em que se estende o limite de viagem para 2h é claro que este distrito consegue cobrir quase toda a região do Alentejo e Algarve. Por outro lado há distritos que nunca são selecionados para uma abertura de polos, como por exemplo Viana do Castelo. Note-se que poderão existir hospitais cuja afetação seja uma localização mais longe que o distrito em que este se insere. Isso fica evidente, por exemplo, na figura 5.4(c), na qual hospitais da região de Lisboa são afetados a uma equipa localizada em Évora, mesmo que Setúbal esteja selecionado e seja mais perto.

Por último pode-se dizer que a variação do tempo máximo de viagem (parâmetro D^c) que as equipas podem fazer provoca grandes alterações no resultado do modelo, podendo variar entre 4 e 10 localizações necessárias de acordo com as condições utilizadas.

5.2.2 Modelo 2: minimização dos tempos de viagem

Aqui tem-se o segundo modelo, que é semelhante ao anterior mas com um objetivo diferente, a minimização da soma dos tempos de viagem (modelo descrito na secção 3.2.1.2). Novamente considera-se um valor inicial para D^c de 1.5 e desta vez variar-se-á para 1 e 2 apenas. A natureza deste objetivo indica que não existirá uma variação da solução obtida com a variação de parâmetros, daí não serem utilizados cinco cenários como no modelo anterior, já que todos serão iguais. Os resultados assim obtidos para estes três valores são representados pelo mapa da figura 5.6.

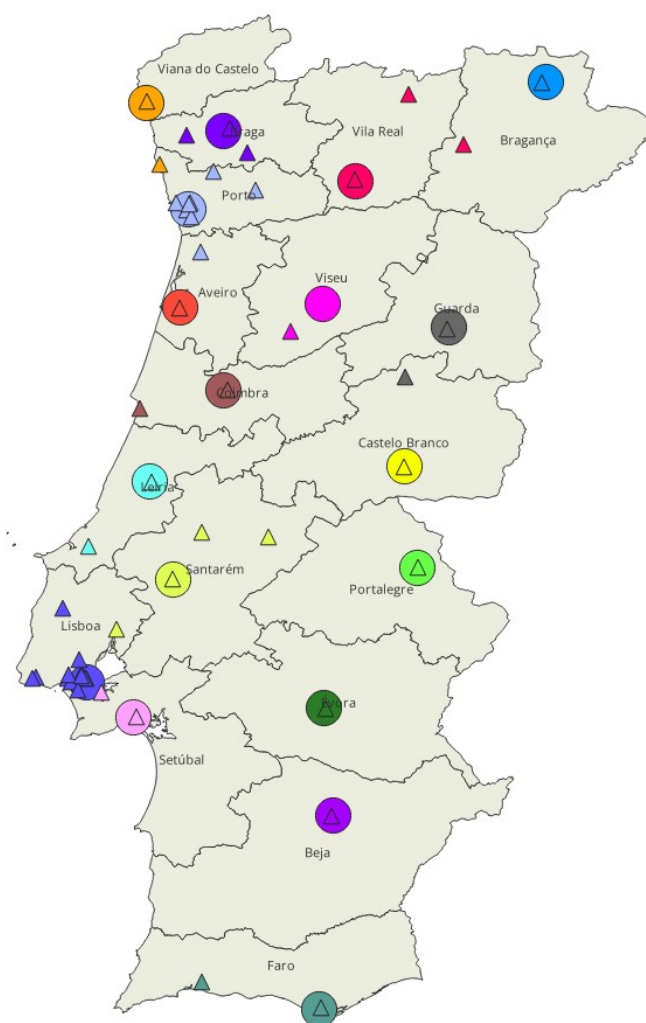


Figura 5.6: Mapa de cobertura do segundo modelo

A variação do parâmetro D^c , ou seja aumentar ou diminuir o limite máximo para cada viagem, não provoca alterações nos resultados como acontecia no caso anterior. Assim o valor ótimo para este modelo é único e cerca de 17 horas e 10 minutos de viagem coletiva (17.17h). Para atingir este tempo total de viagem, seria necessário utilizar todos os 18 distritos de Portugal Continental para chegar a todos os hospitais candidatos com o mínimo tempo de viagem possível. Isso deve-se ao facto deste modelo afetar cada hospital

exatamente ao distrito mais perto de si. Dado que para cada hospital o tempo viagem até algum dos 18 distritos é, no mínimo, inferior a uma hora, a existência do limite máximo entre uma e duas horas não tem qualquer impacto nas alocações. Desta forma o valor de 17.17h corresponde exatamente à soma dos tempos mínimos de viagem para cada hospital.

Esta solução não é ideal pois existem várias localizações que estariam a servir um único hospital: Beja, Évora, Portalegre, Bragança, Castelo Branco, Aveiro e Viseu. Querer apenas diminuir as viagens não é um bom objetivo para o problema em estudo, já que no mínimo as equipas contratadas em cada localização teriam de se deslocar a Lisboa ou Porto duas vezes por mês (para terem formação), gerando uma despesa adicional substancial. Ao entrar em conta com os fatores extra que a ONV precisa de considerar, verificamos que a solução proposta por este modelo tem um objetivo demasiado irrealista para ser cumprido. Vejamos o que acontece ao relaxar esta condição no modelo seguinte.

5.2.3 Modelo 3: modelo bi-objetivo

Este terceiro modelo combina as duas funções objetivo anteriores utilizando o método ϵ -constraint. Os dois gráficos de barras representam as várias soluções encontrada para o modelo quando se faz variar o tempo máximo de viagem e a limitação imposta ao total de viagens W (figuras 5.7 e 5.8).

Mais uma vez consideramos que o tempo máximo de viagem (D^c) pode variar entre 1h e 2h com incrementos de 15min, tendo-se portanto 5 cenários diferentes. O segundo objetivo foi transformado num conjunto de restrições limitadas por W , que vamos variar de forma inteira entre 18 e 21. O valor inicial de 18 vem dos resultados da secção anterior, na qual o tempo mínimo para visitar todos os hospitais seria cerca de 17.17 horas.

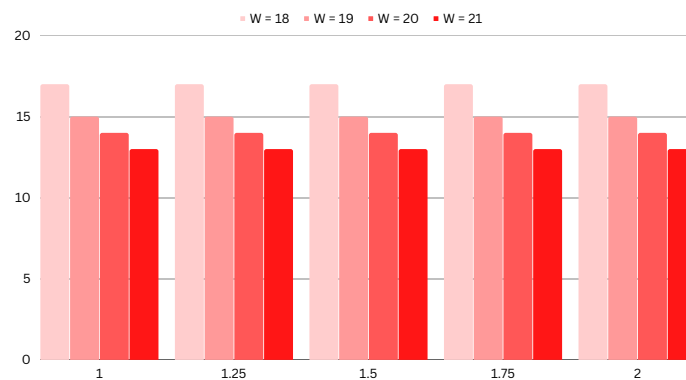


Figura 5.7: Representação do número de localizações em função de W e D^c

Na figura 5.7 as soluções obtidas indicam quantas localizações seriam necessárias utilizar para poderem ser visitados todos os hospitais nos cinco cenários de limites de tempo máximo de viagem. Uma observação que se pode fazer é que a variação tempo máximo de viagem (parâmetro D^c) não tem qualquer efeito nos resultados, apesar de

tornar diferentes algumas das afetações. As únicas alterações são entre os vários valores para a restrição dos tempos totais de viagem. Assim,

- Para o valor de W mais restrito, 18, são necessárias utilizar 17 localizações, ou seja, seria necessário haver equipas de Doutores Palhaços em todos os distritos do continente excepto Viana do Castelo ($D^c = 1$) ou Viseu ($D^c = 1.5, 1.25, 1.75, 2$);
- Para $W = 19$ já só são necessárias utilizar 15 localizações, excluindo-se adicionalmente os distritos de Aveiro e Viseu (ou Viana do Castelo) para todos os 5 casos;
- Para $W = 20$ a redução do número de localizações já é menor, passando de 15 para 14 distritos de Portugal. O distrito que foi excluído com este aumento das horas totais de viagem foi Leiria;
- Por último, com $W = 21$ é possível visitar todos os hospitais com apenas 13 localizações, mas com afetações diferentes das anteriormente referidas, já que distritos que tinham sido excluídos foram reintroduzidos de forma a retirar outros. Pela ordem de menor tempo máximo de viagem (1h) para o maior (2h) tem-se: exclui-se Setúbal; exclui-se Évora e Setúbal mas inclui-se Viana do Castelo; exclui-se Évora e Setúbal mas inclui-se Aveiro; exclui-se Setúbal; exclui-se Évora e Setúbal mas inclui-se Viana do Castelo.

Para além do número de localizações a utilizar, este modelo também nos permite extrair o tempo total de viagem necessário para chegar a todos os hospitais. Este valor é limitado pelo W anteriormente referido, mas nem sempre se utiliza toda a margem disponibilizada.

Na figura 5.8 mostra-se os resultados para os tempos de viagem.

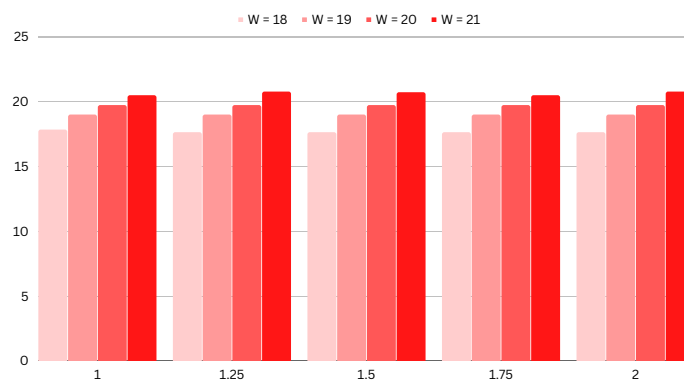


Figura 5.8: Representação do tempo total de viagem em função de W e D^c

Note-se que mais uma vez o tempo máximo de viagem (D^c) não tem efeito nos resultados apresentados. Cada barra no gráfico da figura 5.8 representa uma solução do modelo, que é a mesma utilizada na figura 5.7, apenas observando tempos de viagem em vez de localizações.

Os tempos totais necessários para as afetações acima referidas são, então:

- Para $W = 18$, da esquerda para a direita, 17.84h e 17.64h nas restantes;
- Para $W = 19$ os tempos de viagem são todos iguais e coincidem com o seu limite, portanto são 19h;
- No caso $W = 20$, como as afetações são todas iguais os tempos correspondentes também são, totalizando 19.73h;
- Finalmente para $W = 21$ tem-se 20.49h ($D^c = 1, 1.75$), 20.77h ($D^c = 1.25, 2$) e 20.72h ($D^c = 1.5$).

5.2.4 Modelo 4: modelo de cobertura máxima

Por último apresenta-se o quarto modelo, cujo objetivo é maximizar o número de camas pediátricas cobertas utilizando apenas P localizações.

Este modelo permite inferir acerca das localizações com o maior potencial de expansão. Foram utilizadas várias instâncias do modelo em dois cenários diferentes: no primeiro não se fixa qualquer localização (figura 5.9(a)) e no segundo fixa-se as localizações de Lisboa e Porto (figura 5.9(b)). Cada um dos dois cenários se divide nos 5 casos estudados também nos outros modelos, correspondentes à variação do tempo máximo para uma única viagem localização-hospital (D^c).

Cada ponto é uma instância do modelo, e os pontos conectados são várias instâncias do modelo alterando apenas o número de localizações (o P). Observa-se que o potencial de expansão vai diminuindo quando se aumenta o número de localizações: subir de duas para três traz um impacto maior do que subir de três para quatro, etc. Isto pode ser verificado pela diminuição dos declives dos troços a conectar os pontos de cada um dos cinco casos de ambos os cenários.

Quando não se fixa inicialmente nenhuma localização (figura 5.9(a)) pode ser feita uma comparação direta com os resultados do modelo 1, apresentados em 5.2.1. Apesar dos objetivos serem diferentes, maximizar a cobertura de camas pediátricas ao ponto de se obter cobertura total coincide com visitar todos os hospitais. Assim verificamos um facto que já se tinha conhecimento pelo modelo 1: são necessárias 10, 7, 6, 4 e 4 localizações para cobertura total, por ordem crescente de tempo máximo de viagem. Idealmente adotar-se-ia uma política de maior tempo de viagem para permitir visitar mais hospitais com poucas localizações, mas isso implicaria aumentos significativos nas despesas em transporte e tempo de trabalho total dos Doutores Palhaços. Assim sendo a limitação de 1h30 de viagem é mais equilibrada fornecendo uma grande expansão: cerca de 200 camas extra ao passar de 2 para 3 locais, e 100 camas adicionais ao passar para 4, ficando já cobertas cerca de 1700 de um total de 1736 consideradas. Esta solução corresponde a serem utilizados os distritos Braga, Évora, Guarda e Santarém, que permitem uma cobertura de 97.75%.

Por outro lado, os resultados diferem ligeiramente quando se fixa inicialmente os polos de Lisboa e Porto já existentes, comparativamente com o caso das localizações livres

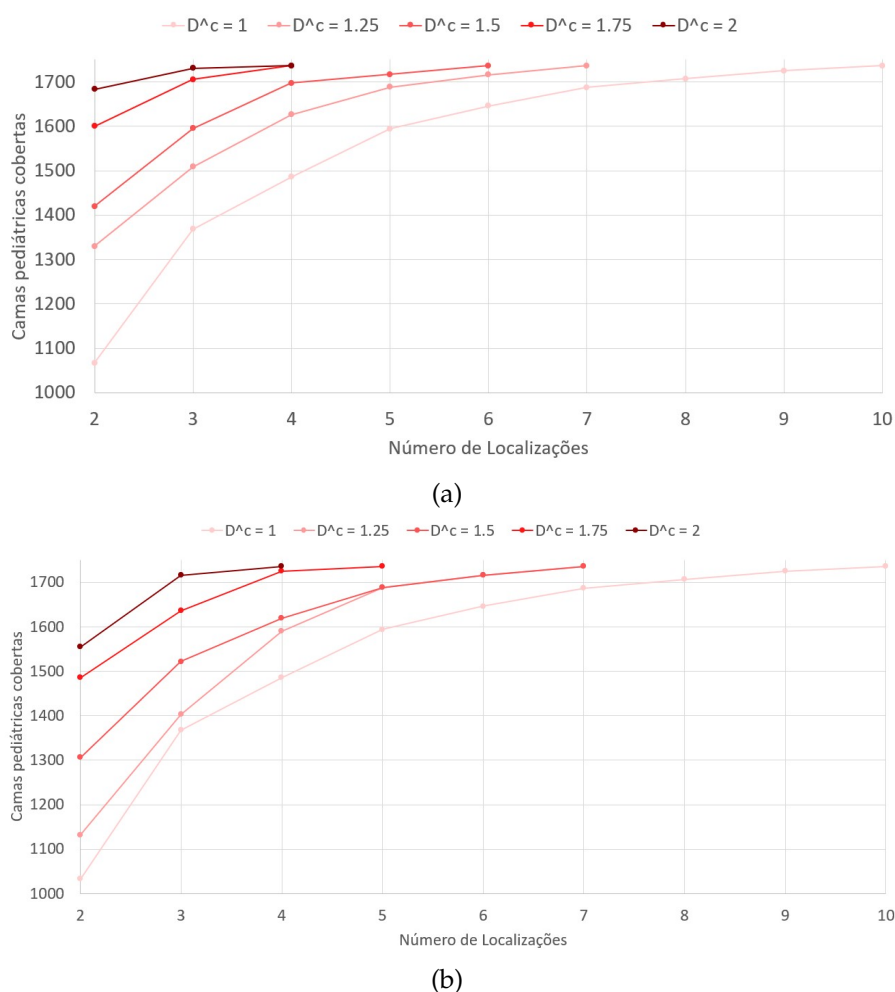


Figura 5.9: Cobertura por número de localizações e tempo máximo de viagem: (a) sem fixar locais e (b) fixando Lisboa e Porto

(figura 5.9(a)). Em todos os 5 casos neste cenário a cobertura total é atingida com um número maior ou igual de localizações que no cenário descrito acima. Isto indica que apesar de serem dois distritos com muitos hospitais não são aqueles que permitem uma disposição ideal para se atingir o número mínimo de polos para cobrir todos os hospitais com serviço de pediatria em Portugal Continental. Num cenário mais otimista de tempos de viagem máximos, com estas duas localizações consegue-se atingir cerca de 1550 das 1736 camas, que passa a cerca de 1716 utilizando mais uma localização, Guarda. Pelos motivos referidos no parágrafo anterior, o limite de 2h de viagem não é o preferível. Ao contrário do que aconteceria no primeiro cenário, ao utilizar apenas 4 localizações e um tempo de viagem de 1h30 ou menor, a maior cobertura que é obtida é de 93%, o que é um valor também bastante elevado. Seria necessária mais uma localização para atingir os 97% de cobertura, que seria, em adição a Lisboa e Porto os distritos de Évora, Guarda e Leiria. Se fosse apenas possível abrir mais uma localização, com os resultados do modelo aqui estudado o distrito a escolher seria Castelo Branco. Esse foi o distrito determinado pelo modelo em 3 dos 5 casos (os não extremos de tempo de viagem máximo) como

sendo a terceira localização para maximizar o número de camas pediátricas que seriam atingidas.

CONCLUSÕES

Este trabalho desenvolvido teve como objetivo auxiliar a ONV na sua tomada de decisão relativamente à expansão do programa de visitas de Doutores Palhaços em hospitais públicos com serviço de pediatria portugueses.

Em Portugal Continental existem 49 hospitais que poderão fazer parte do programa de visitas da ONV, com 17 deles já abrangidos pelos polos de Lisboa e Porto. Com os resultados positivos nos últimos anos, a ONV pretende abranger mais hospitais podendo trazer alegria a crianças hospitalizadas um pouco por todo o país. Coloca-se então a questão de como iniciar o processo de expansão, e quais os primeiros passos a dar nesse sentido.

Primeiro focamos no caso em que se tem apenas os dois polos existentes, Lisboa e Porto, e foi feita uma ordenação através da metodologia de decisão multi-critério SMART, com três critérios escolhidos pela equipa do Centro de Estudo e Pesquisas da ONV. Foram apenas incluídos os hospitais cujo tempo de viagem ao polo mais próximo é inferior a 1h30 min, o que excluiu logo 10 dos 49 hospitais. Não foram retirados os hospitais já visitados para poder corroborar o facto de serem boas opções. Os resultados com os pesos iguais para cada critério indicam exatamente isso. De seguida extraem-se dois conjuntos Top 5 de hospitais não visitados, geral e região Norte, para uma posterior análise de sensibilidade TRIDENT. Com esta técnica foi possível indicar quais os hospitais que seriam as melhores escolhas para se iniciar uma primeira fase de expansão, tendo sido Santa Cruz, São Sebastião, Padre Américo e Pedro Hispano os melhores classificados para muitas combinações de pesos conforme a importância dos critérios.

Depois avalia-se a introdução de novas localizações, seja polos ou apenas equipas contratadas localmente, de forma a cobrir todos os hospitais ou maximizar a cobertura de camas pediátricas nos mesmos. Os modelos de localização utilizados tiveram por base os modelos de Set Covering e Maximum Covering. Destacam-se o primeiro e quarto modelos. Os resultados do primeiro modelo indicam que, de acordo com as limitações de viagem impostas, seriam necessárias utilizar pelo menos entre 4 e 10 localizações para conseguir cobrir todos os hospitais, nas quais os distritos de Lisboa e Porto, como um conjunto, não fazem parte. No último modelo, aquele que é baseado no maximum covering,

verificamos então qual a maior cobertura atingida com um número fixo, P , de localizações. Os resultados são particularmente interessantes na instância do modelo em que se fixa os polos já existentes, Lisboa e Porto, de forma a analisar quais as regiões que permitem maior potencial de expansão. Considerando o limite de 1h30 de viagem adicionando apenas mais 3 polos, Évora, Guarda e Leiria, seria possível obter uma cobertura de cerca de 97%. Se fosse possível abrir apenas mais uma localização, a eleição deveria ser Castelo Branco, já que este seria o selecionado em 3 dos 5 cenários estudados.

Em suma, foram obtidos vários resultados que permitem agora à ONV tomar uma decisão acerca dos próximos passos do plano de expansão, seja apenas por seleção de hospitais a servir com os polos existentes, ou pela criação de novos polos para englobar mais regiões do país.

Alguns aspetos que poderiam ser considerados para trabalho futuro seriam a inclusão de outros fatores na construção dos modelos de localização ou na metodologia multi-critério. Apesar dos resultados obtidos permitirem uma boa base para a tomada de decisão, o aspeto financeiro é algo extremamente importante para uma organização como a ONV que é financiada exclusivamente por doações e similares. Seria importante entrar em consideração os custos associados às deslocações bi-mensais de equipas localizadas noutros distritos e comparados com os custos de aluguer de um pequeno escritório e contratação de pessoal para um polo local adicional. Por último, seria importante verificar o que poderia ser feito em relação aos hospitais das Ilhas, que não foram considerados pela quantidade pequena de hospitais que poderiam ser servidos e o facto das visitas bi-mensais aos polos serem muito mais dispendiosas.

BIBLIOGRAFIA

- [1] URL: <https://www.narizvermelho.pt> (ver pp. 1, 5–8, 20).
- [2] URL: <https://transparencia.sns.gov.pt> (ver p. 19).
- [3] F. Baouche *et al.* «Efficient Allocation of Electric Vehicles Charging Stations: Optimization Model and Application to a Dense Urban Network». Em: *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine* 6.3 (2014), pp. 33–43. DOI: 10.1109/MITS.2014.2324023 (ver p. 12).
- [4] J. Current, M. Daskin e D. Schilling. «Discrete Network Location Models». Em: *Facility Location: Applications and Theory* 14 (2002-01), pp. 80–118. DOI: 10.1007/978-3-642-56082-8_3 (ver p. 13).
- [5] J. Current, H. Min e D. Schilling. «Multiobjective analysis of facility location decisions». Em: *European Journal of Operational Research* 49.3 (1990), pp. 295–307. ISSN: 0377-2217. DOI: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90401-V](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90401-V) (ver p. 12).
- [6] M. S. Daskin. «What you should know about location modeling». Em: *Naval Research Logistics (NRL)* 55.4 (2008), pp. 283–294. DOI: <https://doi.org/10.1002/nav.20284> (ver pp. 12, 13).
- [7] E. Erkut e V. Verter. «A Framework for Hazardous Materials Transport Risk Assessment». Em: *Risk Analysis* 15.5 (1995), pp. 589–601. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.1995.tb00755.x> (ver p. 12).
- [8] F. Finlay, A. Baverstock e S. Lenton. «Therapeutic clowning in paediatric practice». Em: *Clinical Child Psychology and Psychiatry* 19.4 (2014). PMID: 23855014, pp. 596–605. DOI: 10.1177/1359104513492746 (ver pp. 1, 2).
- [9] K. Ford *et al.* «More than just clowns – Clown Doctor rounds and their impact for children, families and staff». Em: *Journal of Child Health Care* 18.3 (2014). PMID: 23818149, pp. 286–296. DOI: 10.1177/1367493513490447 (ver p. 2).
- [10] M. Gomes e N. Martins. *Mathematical Models for Decision Making with Multiple Perspectives: An Introduction*. CRC Press, 2022. ISBN: 9781000647570 (ver pp. 10, 11).

- [11] S. Hong e M. Kubry. «A threshold covering flow-based location model to build a critical mass of alternative-fuel stations». Em: *Journal of Transport Geography* 56 (2016), pp. 128–137. ISSN: 0966-6923. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2016.08.019> (ver p. 12).
- [12] D. Koller e C. Gyski. «The Life Threatened Child and the Life Enhancing Clown: Towards a Model of Therapeutic Clowning». Em: *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine : eCAM* 5 (2007), pp. 17–25 (ver p. 1).
- [13] J. M. Lourenço. *The NOVAthesis L^AT_EX Template User's Manual*. NOVA University Lisbon. 2021. URL: <https://github.com/joaomlourenco/novathesis/raw/main/template.pdf> (ver p. i).
- [14] A. M. Mestre, M. D. Oliveira e A. Barbosa-Póvoa. «Organizing hospitals into networks: a hierarchical and multiservice model to define location». Em: *OR Spectrum* 34 (2012), 319–348. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00291-011-0272-1> (ver p. 12).
- [15] H. Taherdoost e M. Madanchian. «Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Methods and Concepts». Em: *Encyclopedia* 3.1 (2023), pp. 77–87. ISSN: 2673-8392. DOI: [10.3390/encyclopedia3010006](https://doi.org/10.3390/encyclopedia3010006) (ver p. 9).
- [16] L. M. Van Blerkom. «Clown Doctors: Shaman Healers of Western Medicine». Em: *Medical Anthropology Quarterly* 9.4 (1995), pp. 462–475. DOI: <https://doi.org/10.1525/maq.1995.9.4.02a00030> (ver p. 2).
- [17] L. Venrooij e P. Barnhoorn. «Hospital clowning: a paediatrician's view». Em: *European Journal of Pediatrics* 176 (2017-02). DOI: [10.1007/s00431-016-2821-8](https://doi.org/10.1007/s00431-016-2821-8) (ver p. 2).
- [18] A. Weber. «Theory of the location of industries». Em: *Univesity of Chicago Press* (1909). english translation by C.J. Friedrich (1929) (ver p. 12).



2023 Expansão do Programa de Visitas para a Operação Nariz Vermelho Beatriz Jorge