

# INVESTIGAÇÃO OPERACIONAL EM AÇÃO

CASOS DE APLICAÇÃO

RUI CARVALHO OLIVEIRA  
JOSÉ SOEIRO FERREIRA  
(EDITORES)

IMPRESA DA UNIVERSIDADE DE COIMBRA  
COIMBRA UNIVERSITY PRESS

# CASO 19

## **OTIMIZAÇÃO DE REDES HOSPITALARES: UM MODELO DE LOCALIZAÇÃO HIERÁRQUICO E MULTI-SERVIÇO APLICADO AO CASO PORTUGUÊS**

**Ana Maria Mestre**

Centro de Estudos em Gestão do Instituto Superior Técnico  
Universidade de Lisboa  
anamestre@tecnico.ulisboa.pt

**Mónica Duarte Oliveira**

Centro de Estudos em Gestão do Instituto Superior Técnico  
Universidade de Lisboa  
monica.oliveira@tecnico.ulisboa.pt

**Ana Paula Barbosa Póvoa**

Centro de Estudos em Gestão do Instituto Superior Técnico  
Universidade de Lisboa  
apovoa@tecnico.ulisboa.pt

## RESUMO

Sistemas hospitalares enquadrados num Serviço Nacional de Saúde (SNS) são sujeitos a um planeamento da rede hospitalar, com o intuito de promover equidade na distribuição dos serviços e acesso aos cuidados de saúde hospitalares, tendo em conta os recursos disponíveis. Este trabalho desenvolve um modelo de apoio à reorganização da rede hospitalar na zona sul de Portugal, com base num modelo de programação linear inteira mista. O modelo desenvolvido é uma extensão de modelos de localização hierárquicos que permite modelar vários aspetos relevantes no planeamento hospitalar, nomeadamente: as unidades hospitalares como prestadoras de múltiplos serviços, a cooperação de unidades em diferentes níveis com fluxos ascendentes e descendentes na hierarquia, e limites na capacidade instalada. Para exemplificar a utilidade do modelo são apresentados os resultados de dois cenários que capturam diferentes perspetivas relevantes para a reorganização hospitalar e incluem os projetos hospitalares em estudo e discussão em Portugal. O modelo fornece resultados relevantes para o planeamento da rede hospitalar, como a localização e dimensionamento das unidades hospitalares, a definição das áreas de influência, e indicadores de nível de serviço. Na secção final analisa-se a aplicação do modelo a outro caso de estudo, assim como se identificam as linhas de investigação a prosseguir.

## PALAVRAS-CHAVE

Modelos de localização, Planeamento de redes, Programação matemática, Saúde, Rede hospitalar

## 1. Introdução

Em países com um sistema de saúde estruturado num Serviço Nacional de Saúde (SNS), um objetivo central do sistema consiste na prossecução da equidade na distribuição dos serviços e no acesso. No caso do SNS português, as leis fundamentais instituem cobertura universal da população, acesso tendencialmente gratuito a cuidados de saúde e financiamento do sistema público através de impostos e do orçamento geral do estado. Neste contexto, o planeamento estratégico de uma rede hospitalar num SNS envolve decisões de distribuição dos recursos de forma a promover a equidade geográfica e a considerar questões de eficiência e custos.

O presente trabalho descreve a resolução de um caso de estudo no SNS português onde se pretende analisar como reestruturar a atual rede hospitalar na zona sul do país de forma a melhorar o acesso das populações aos cuidados hospitalares. Esta melhoria no acesso pode ser alcançada com a reorganização da atual rede e principalmente com a construção de unidades de menor dimensão, face às existentes na rede atual, as quais se localizarão mais próximas da população. Todavia, estas soluções podem resultar como demasiado dispendiosas e levar a ineficiências na prestação de serviços, havendo pois a necessidade de estabelecer um compromisso entre dois fatores chave: acesso e custo. A fim de conseguir atingir estes objetivos, desenvolveu-se um modelo de otimização hierárquico e multi-serviço que permite analisar decisões relativas à (re)organização de redes hospitalares no contexto de um SNS. Nesta abordagem deu-se ênfase à melhoria do acesso estimando as respetivas implicações nos custos hospitalares (abrangendo custos de investimento e operacionais). Numa fase posterior do trabalho pretende-se estabelecer soluções de compromisso entre estes dois objetivos de extrema importância no planeamento hospitalar. O modelo pode pois ser usado como uma ferramenta de apoio à decisão no planeamento integrado de redes hospitalares. O uso do modelo gera informação chave para responder simultaneamente a várias questões relevantes para o planeamento hospitalar, nomeadamente: onde localizar novas unidades hospitalares e como redimensionar as unidades hospitalares existentes? Que combinação de serviços deve cada unidade hospitalar prestar? Como devem as unidades

hospitalares estar organizadas na rede de prestadores e no sistema de referenciação? Que área de influência deve ter cada unidade hospitalar, e que populações devem estar afetadas a cada hospital? Que fluxos de utentes, intra- e inter-hospitalares são expectáveis? Qual o custo de investimento e de prestação na rede para diferentes níveis de acesso?

O modelo desenvolvido é uma extensão do modelo clássico de localização da p-mediana, e considera como enquadramento um decisor que pretende maximizar o acesso no âmbito de um SNS com as seguintes características:

- ✓ A rede hospitalar é representada através de um sistema hierárquico com dois níveis que disponibilizam diferentes tipos de serviço. O nível inferior presta cuidados de proximidade às populações referenciando os utentes para o nível superior sempre que existe necessidade de cuidados mais diferenciados. Por outro lado, o nível superior presta ambos os cuidados de saúde à sua área de influência direta;
- ✓ As unidades hospitalares são consideradas prestadoras de múltiplos serviços: internamento, urgência e consulta externa;
- ✓ Existem fluxos de utentes entre serviços hospitalares de um mesmo hospital e entre hospitais de diferentes níveis hierárquicos;
- ✓ São impostos limites na capacidade hospitalar, o que indiretamente considera questões de economia de escala e eficiência na prestação dos serviços;
- ✓ Como regra de planeamento, é considerado que a afetação de uma população é feita para a unidade mais próxima, regra pertinente para a definição de áreas de influência compactas;
- ✓ O modelo considera custos de investimento relacionados com a construção e redimensionamento dos hospitais, assim como custos operacionais decorrentes da atividade diária de prestação de serviços hospitalares – a análise de custos é central para a reorganização de uma rede hospitalar.

O caso de estudo, como referido anteriormente, envolve a reorganização da rede hospitalar da zona sul de Portugal. Esta região é independente e autossuficiente na prestação de cuidados de saúde e integra as áreas cobertas pelas Administrações Regionais de Saúde de Lisboa e Vale do Tejo, Alentejo e

Algarve. Estas regiões apresentam características e populações distintas, assim como redes hospitalares com diferentes níveis de especialização e tecnologia. Enquanto Lisboa e Vale do Tejo é uma zona urbana com boas acessibilidades físicas, onde se concentram grande parte dos recursos hospitalares para tratamento de casos mais complexos, o Alentejo é uma região rural que tem fracas acessibilidades e uma população envelhecida e dispersa pelo território; a contrastar, o Algarve é uma região com zonas urbanas e rurais e que apresenta uma grande flutuação da população devido à sazonalidade da sua maior atividade económica, o turismo.

Atualmente existem vários projetos para a reorganização desta rede hospitalar que definem a construção de novos hospitais e a substituição de unidades existentes. Estando estes projetos em fase de estudo, discussão e construção, o modelo de otimização desenvolvido foi usado para analisar se estes projetos são os que mais contribuem para melhorias no acesso.

Os dados usados no caso de estudo resultam de informação institucional regularmente disponibilizada, e os resultados obtidos ilustram de que forma o modelo pode ser usado para apoiar os decisores no planeamento de redes hospitalares. Para tal, estudaram-se vários cenários que permitiram testar diferentes políticas de reorganização da rede e implicações no acesso e custo. Uma versão mais alargada do trabalho aqui descrito pode ser consultada em Mestre et al. (2012).

O presente trabalho prossegue com uma fundamentação teórica onde se caracterizam os modelos de localização e se analisam alguns dos trabalhos mais relevantes realizados na literatura da área. Em seguida, é feito o enquadramento do modelo desenvolvido para a otimização de redes hospitalares, são descritos os principais pressupostos assumidos na elaboração do modelo e a sua formulação matemática. Posteriormente, o caso de estudo é analisado em detalhe, sendo descrita a informação de base usada e apresentados exemplos de alguns resultados obtidos com a aplicação do modelo. Na secção final é feito o balanço do trabalho realizado e discutem-se futuros desenvolvimentos.

## 2. Modelos de localização

### 2.1. Aspectos genéricos em modelos de localização

Os modelos de localização têm sido frequentemente usados como ferramentas de apoio à decisão de planeamento de sistemas de saúde, tal como descrevem Daskin e Dean (2004). A literatura na área de localização é vasta, pelo que a presente revisão bibliográfica não pretende ser exaustiva, identificando-se apenas os trabalhos mais relevantes para o enquadramento do trabalho desenvolvido. Informação mais detalhada sobre modelos de localização pode ser encontrada no livro de Daskin (1995), ou nos artigos de revisão de Owen e Daskin (1998), Marianov e Serra (2004), ReVelle e Eiselt (2005) e Melo et al. (2009). No contexto de sistemas de saúde, diversas aplicações têm surgido em países em desenvolvimento, tal como revisto por Rahman e Smith (2000) e descrito por Smith et al. (2009).

Daskin (2008) classificou os modelos de localização discretos em dois grandes grupos: os modelos de cobertura e os modelos p-mediana. Nos modelos p-mediana o objetivo é minimizar o tempo médio (ou total) de percurso normalmente ponderado pela procura. Por outro lado, os modelos de cobertura são caracterizados pela existência de uma distância crítica que não pode ser excedida para a procura ser considerada satisfeita, e surgem na literatura com diferentes objetivos: minimizar o número de unidades necessárias para cobrir toda a procura ('set covering models'), maximizar a procura coberta com um número pré-definido de unidades ('maximal covering models'), ou minimizar a distância necessária para cobrir toda procura com um número pré-definido de unidades ('p-center models'). Marianov e Serra (2004) analisam aplicações no sector público de ambos os tipos de modelos de localização. Em alternativa, alguns autores tentaram conjugar as vantagens dos modelos de cobertura e dos modelos p-mediana, introduzindo uma restrição que estabelece uma distância máxima (ou tempo máximo de percurso) que não deve ser ultrapassada. Este conceito foi introduzido por Toregas et al. (1971) e usado no contexto de sistemas de saúde por vários autores, incluindo Ruth (1981) e Meherez et al. (1996).

O modelo construído no presente estudo segue este último caso: tem uma estrutura p-mediana, minimizando o tempo de acesso ponderado pelo número

de utentes, assim como considera restrições com os tempos máximos de percurso aceitáveis.

## **2.2. Objetivos para planeamento de sistemas de saúde**

Os modelos de localização desenvolvidos para o contexto de um sistema de saúde frequentemente consideram objetivos de custo, equidade, eficiência e acesso. Dentro destes objetivos a prossecução de equidade tem tido especial ênfase e sido um tópico investigado por diversos estudos. Contudo, múltiplas definições alternativas de equidade são citadas na literatura. Marsh e Schilling (1994) apresentam uma revisão das diversas medidas propostas para atingir equidade, sendo que este conceito depende da aplicação em causa e das preferências do decisor. No presente estudo, o modelo proposto maximiza a acessibilidade, considerando indiretamente questões de custo e de eficiência.

## **2.3. Modelos de localização para planeamento de sistemas de saúde**

Tendo em conta as especificidades dos sistemas de saúde, vários modelos hierárquicos têm sido usados no planeamento desses sistemas (ReVelle e Eiselt, 2005). Estes modelos permitem modelar o sistema como um todo e evitam soluções sub-ótimas que se obtêm quando cada nível de serviço é otimizado individualmente. Narula (1986) propôs uma classificação para os modelos de localização hierárquicos que os divide em modelos hierárquico inclusivos, quando a unidade disponibiliza todos os níveis inferiores de serviço, e hierárquico exclusivos, quando uma unidade presta apenas um nível de serviço. O autor também reviu os artigos aplicados na área da saúde até à data, e concluiu que é mais comum usar modelos hierárquicos inclusivos. Uma revisão mais atual de modelos hierárquicos pode ser encontrada em Sahin e Süral (2007).

Alguns exemplos de modelos de localização hierárquicos aplicados ao sistema de saúde são da autoria de Dökmeci (1973), Ruth (1981), Moore e ReVelle (1982), Galvão et al. (2002), Smith et al. (2009) e Smith et al. (2010). Dökmeci (1973) introduziu um modelo hierárquico para determinar a localização e capacidade de serviços de saúde de forma a minimizar os custos do sistema. Ruth (1981) propôs um modelo para o planeamento hospitalar

considerando três níveis hierárquicos e restrições de capacidade mínima que indiretamente modelam questões relacionadas com economias de escala e eficiência. Moore e ReVelle (1982) desenvolveram uma extensão hierárquica de um modelo de cobertura para otimizar os serviços de saúde nas Honduras. Galvão et al. (2002) desenvolveram um modelo hierárquico de três níveis para a organização de serviços de assistência materna e perinatal no Município do Rio de Janeiro. Smith et al. (2009), dentro do contexto de países em desenvolvimento, propuseram um conjunto de modelos hierárquicos do tipo de cobertura e p-mediana. Smith et al. (2010) analisaram os modelos hierárquicos numa perspectiva bi-objetivo equilibrando equidade e eficiência.

Embora esta revisão bibliográfica seja orientada para os modelos hierárquicos devido à sua relevância no planeamento de sistemas de saúde, e em particular no trabalho desenvolvido para redes hospitalares, importa referir que existem na literatura outras abordagens importantes, que todavia não serão aqui analisadas.

Acresce que o planeamento de redes hospitalares envolve decisões que são difíceis de reverter, que têm impactos políticos e que influenciam a qualidade de vida das populações. O desenvolvimento de métodos que permitam uma análise quantitativa e global da rede é pois fundamental para o apoio à decisão e relevante para a sustentação das escolhas efetuadas. O modelo desenvolvido apresenta-se como uma ferramenta de apoio à decisão para o planeamento de redes hospitalares que permite informar os decisores sobre questões relativas à localização e dimensionamento de redes hospitalares. O modelo é do tipo inteiro misto, tem uma estrutura hierárquica, e contribui para a literatura ao considerar simultaneamente vários aspetos relevantes para o planeamento, i.e., retratando unidades hospitalares como prestadoras de vários serviços, fluxos de utentes entre níveis hierárquicos e serviços hospitalares, e limites na capacidade instalada.

### **3. Modelo de localização hierárquico**

Tal como referido anteriormente, em sistemas de saúde baseados num SNS os principais objetivos a alcançar prendem-se com a promoção da igualdade de acesso e com a equidade na distribuição espacial dos recursos e na sua

utilização. Inerente a estes sistemas está a cobertura universal da população e o acesso tendencialmente gratuito aos serviços. Os decisores políticos em países com SNS têm de planear o sistema tendo em conta as necessidades de cuidados de saúde e questões orçamentais.

No presente trabalho apresenta-se um modelo de localização hierárquico de programação matemática que tem como objetivo auxiliar o planeamento integrado de redes hospitalares, informando simultaneamente sobre várias decisões como a localização de novas unidades hospitalares e o redimensionamento de unidades hospitalares existentes, a definição de redes referenciação entre hospitais, a definição das áreas de influência dos hospitais, a composição da oferta de serviços em cada unidade hospitalar, e os fluxos de utentes intra- e inter- hospitalar. As várias opções usadas são descritas em seguida e, posteriormente será apresentado o modelo desenvolvido.

### 3.1. Estrutura hierárquica e fluxos de utentes

O modelo proposto considera que as redes hospitalares estão organizadas em sistemas hierárquicos (inclusivos) com dois níveis de serviços. No nível inferior, unidades de menor dimensão prestam cuidados de proximidade às populações da sua área direta de influência. Estas unidades são denominadas de Hospitais Distritais (HD). No nível superior, unidades mais especializadas recebem utentes transferidos de unidades de nível inferior. Estas unidades são denominadas de Hospitais Centrais (HC) e prestam tantos serviços especializados a uma maior área de influência como cuidados de proximidade às populações locais dentro da sua área de influência direta.

O modelo apresentado neste trabalho considera que os hospitais são prestadores de três tipos de serviços: internamento, urgência e consulta externa. Considera ainda que os hospitais estão organizados em redes que cooperam entre si, existindo um fluxo de utentes entre serviços e níveis hierárquicos. A Figura 1 contextualiza o problema e evidencia as principais características da rede hospitalar que serão analisadas nas subsecções seguintes. Os fluxos de utentes na hierarquia devem ser interpretados da seguinte forma: recorrendo a taxas de utilização normalizadas, a população é convertida em procura para os três serviços de saúde que podem ser disponibilizados pelos HD ou HC; se um

utente é servido por uma unidade de nível inferior, pode ser transferido para uma unidade de nível superior para receber serviços mais especializados não disponíveis na unidade de nível inferior; o fluxo inverso (de HC para HD) pode ocorrer depois de um atendimento; se um utente dá entrada no serviço de urgência pode ser internado. Os fluxos representados na Figura 1 são os mais relevantes dentro de um sistema hospitalar, mesmo que outros fluxos possam ser considerados no modelo.

Atendendo às características do sistema e à necessidade de modelar em detalhe os fluxos na rede, optou-se por desenvolver uma extensão de um modelo *p-mediana*. Esta tipologia de modelos é apropriada para retratar situações em que o tempo médio (ou total) de percurso é relevante (Daskin e Dean, 2004). O modelo inclui ainda restrições que limitam o tempo máximo de percurso (ou distância máxima). De acordo com o descrito na revisão bibliográfica, a inclusão desta restrição permite conjugar os modelos de cobertura com os modelos *p-mediana*.

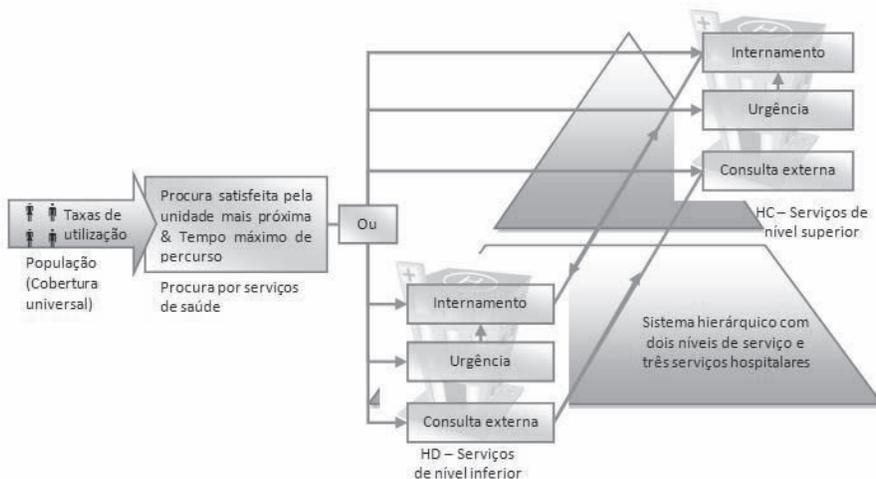


Figura 1: Esquematização do sistema e dos fluxos hospitalares

### 3.2. Critérios de afectação

Outro aspeto relevante para o planeamento de redes hospitalares é a escolha do critério de afetação. Dependendo do sistema em questão, os utentes podem estar afetos a uma unidade ou serem livres de escolher onde querem

ser atendidos. No caso de os utentes serem livres de escolher o prestador de cuidados de saúde, é necessário compreender os fatores que influenciam as suas escolhas e modelar o seu comportamento (Mayhew e Leonardi, 1982).

Compreendendo as vantagens e desvantagens dos diferentes critérios, optou-se no presente trabalho por definir a afetação das populações a uma única unidade, devido ao facto de no SNS português estar definido na prática um sistema de referenciação e de não promover mecanismos de livre escolha por parte dos utentes. Por outro lado, a necessidade de criação de áreas de influência compactas levou à escolha de uma regra de planeamento em que a afetação é feita à unidade mais próxima (Gerrard e Church, 1996).

### **3.3. Limites de capacidades e seleção de potenciais localizações**

O modelo desenvolvido considera limites na capacidade instalada, dado que uma dimensão crítica de serviços está relacionada com qualidade na prestação de serviços e indiretamente permite modelar economias de escala na prestação dos serviços.

Em modelos de planeamento, a escolha do conjunto de potenciais novas localizações reveste-se de grande relevância. O estabelecimento de um requisito mínimo de população para as potenciais localizações de novas unidades é importante para assegurar que existem recursos físicos e humanos para prestar os serviços numa dada localização. Os decisores e utilizadores dificilmente aceitariam unidades em localizações de pequena dimensão, pelo que esta situação é considerada no modelo. Este critério é também compatível com a inclusão no modelo de limites de capacidade mínima, dado que por questões de eficiência, custo e qualidade não devem existir hospitais de muito pequena (ou de muito grande) dimensão. Para os casos de hospitais previamente existentes, a reorganização da rede hospitalar deve ter em conta essa superestrutura e as opções políticas de alteração dessa rede, tal como é o caso da rede hospitalar analisada neste trabalho (ver secção 4).

### **3.4. Síntese da estrutura do modelo: inputs, outputs e objetivo**

Para além das questões atrás analisadas, o modelo foi construído de forma a incluir outras questões importantes para o planeamento, fornecendo

informação relevante para o planeamento de redes hospitalares, nomeadamente sobre: o acesso geográfico, a localização das unidades hospitalares, a afetação das populações, as áreas de influência, os fluxos de utentes e indicadores do nível de serviço. A estrutura global do modelo desenvolvido está sintetizada na Tabela 1.

Tabela 1: Esquematização do modelo: inputs, outputs e objetivo.

Dada a(o): (inputs)	Procura por serviços hospitalares Percentagens de transferências entre hospitais e entre serviços Capacidades hospitalares máximas e mínimas Tempo médio de percurso entre pontos da rede Tempo médio de internamento Custos operacionais e de investimento Superestrutura existente da rede e possíveis alterações
Determinar (outputs)	A estrutura da rede: localização das unidades hospitalares, afetação das populações, capacidade hospitalar, fluxos de utentes e indicadores de nível de serviço
De forma a	Melhorar o acesso através da minimização do tempo de percurso ponderado pela utilização

### 3.5. Síntese da estrutura do modelo: inputs, outputs e objetivo

O modelo de programação matemática desenvolvido faz uso da notação apresentada na Tabela 2.

Tabela 2: Notação do modelo hierárquico: índices, variáveis e parâmetros.

	Notação	Descrição
Índices	$i \in I$	Conjunto dos pontos de procura
	$j, j' \in J$	Conjunto das potenciais localizações para Hospitais Distritais (HD)
	$k, k' \in K$	Conjunto das potenciais localizações para Hospitais Centrais (HC)
	$w, v, a \in W$	Conjunto dos serviços hospitalares ( $w=$ int para serviço de internamento, $w=$ urg para serviço de urgência e $w=$ ce para serviço de consulta externa)
Variáveis	$X_{jw}^D$ $X_{kw}^C$	$=1$ se o HD/HC é localizado no ponto $j/K$ e disponibiliza o serviço $w$ ; $=0$ caso contrário
	$Y_{ijw}^D$ $Y_{ikw}^C$	Fluxos de utentes entre o ponto de procura $i$ e o serviço $w$ no HD/HC $j/k$
	$Y_{jkvw}^{DC}$ $Y_{k'jvw}^{CD}$	Fluxos de utentes entre o serviço $w$ no HD $j$ e o serviço $v$ no HC $k$ , e vice-versa
	$cap_{jw}^D$ $cap_{kw}^C$	Capacidade do serviço $w$ no HD $j$ /HC $k$ (variáveis auxiliares em camas para o serviço de internamento e número de utentes servidos nos restantes serviços)
Parâmetros	$d_{ij}^1$ $d_{ik}^2$	Tempo médio de percurso entre os pontos de procura e HD $j$ / HC $k$
	$d_{jk}^3$ $d_{kj}^4$	Tempo médio de percurso entre o HD $j$ e HC $k$ / HC $k$ e HD $j$
	$\alpha$	Ponderador que permite diferenciar uma primeira entrada de uma transferência

	Notação	Descrição
Parâmetros	$D_{iw}$	Procura pelo serviço w no ponto i
	$S_{aw}$	Percentagem de utentes transferidos do serviço a para o serviço w dentro do mesmo hospital
	$S_{ww}^{DC}$	Percentagem de utentes transferidos do serviço w num HD para o serviço v num HC
	$S_{vw}^{CD}$	Percentagem de utentes transferidos do serviço v num HC para o serviço w num HD
	$alos_w^D$ $alos_v^C$	Demora média da estadia no serviço w/v num HD/HC
	$capmin_{jw}^D$	Capacidade mínima necessária no serviço w no HD j / HC k
	$capmin_{kw}^C$	Capacidade mínima necessária no serviço w no HD j / HC k
	$capmax_{jw}^D$	Capacidade máxima necessária no serviço w no HD j / HC k
	$capmax_{kw}^C$	Capacidade máxima necessária no serviço w no HD j / HC k
	$b^w$	Assiste a conversão de fluxos em capacidade instalada (em camas no internamento)
	$d^D$ $d^C$ $d^{max}$	Tempo máximo de percurso para aceder a um HD / HC
$icap_{jint}^D$	Capacidade atualmente instalada no serviço de internamento do HD j	

De acordo com a notação descrita, o modelo de programação matemática pode ser definido através da função objetivo [1] e das restrições [2] a [19] que de seguida se apresentam.

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{w \in W} d_{ij}^1 Y_{ijw}^D + \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \sum_{v \in W} d_{ik}^2 Y_{ikv}^C \\ & + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} \sum_{w \in W} \sum_{v \in W} \alpha \left( d_{jk}^3 Y_{jkwv}^{DC} + d_{kj}^4 Y_{kvw}^{CD} \right) \end{aligned} \quad [1]$$

Sujeito a:

$$\sum_{j \in J} Y_{ijw}^D + \sum_{k \in K} Y_{ikw}^C = D_{iw} \quad \forall_{i \in I} w \in W \quad [2]$$

$$\left[ \sum_{i \in I} Y_{ijw}^D + \sum_{i \in I} \sum_{a \in W} Y_{ija}^D \cdot S_{aw} \right] S_{ww}^{DC} = \sum_{k \in K} Y_{jkwv}^{DC} \quad \forall_{j \in J} w \in W v \in W \quad [3]$$

$$Y_{kvw}^{CD} = S_{vw}^{CD} \cdot Y_{jkwv}^{DC} \quad \forall_{j \in J} k \in K w \in W v \in W \quad [4]$$

$$cap_{jw}^D = \left[ \sum_{i \in I} Y_{ijw}^D + \sum_{i \in I} \sum_{a \in W} Y_{ija}^D \cdot S_{aw} + \sum_{k \in K} \sum_{v \in W} Y_{kvw}^{CD} \right] \times \frac{alos_w^D}{b^w} \quad \forall_{j \in J} w \in W \quad [5]$$

$$cap_{kv}^C = \left[ \sum_{i \in I} Y_{ikv}^C + \sum_{i \in I} \sum_{a \in W} Y_{ika}^C \cdot S_{av} + \sum_{j \in J} \sum_{w \in W} Y_{jkwv}^{DC} \right] \times \frac{alos_v^C}{b^v} \quad \forall_{k \in K} v \in W \quad [6]$$

$$cap \min_{jw}^D X_{jw}^D \leq cap_{jw}^D \leq cap \max_{jw}^D X_{jw}^D \quad \forall_{j \in J \ w \in W} \quad [7]$$

$$cap \min_{kw}^C X_{kw}^C \leq cap_{kw}^C \leq cap \max_{kw}^C X_{kw}^C \quad \forall_{k \in K \ w \in W} \quad [8]$$

$$Y_{ijw}^D + D_{iw} X_{j'w}^D \leq D_{iw} \quad \forall_{i \in I \ j \in J \ j' \in \{j \mid d_{ij}^1 < d_{ij}^1\} \ w \in W} \quad [9]$$

$$Y_{ikw}^C + D_{iw} X_{k'w}^C \leq D_{iw} \quad \forall_{i \in I \ k \in K \ k' \in \{k \mid d_{ik}^2 < d_{ik}^2\} \ w \in W} \quad [10]$$

$$Y_{ijw}^D + D_{iw} X_{kw}^C \leq D_{iw} \quad \forall_{i \in I \ j \in J \ k \in \{k \mid d_{ik}^2 < d_{ij}^1\} \ w \in W} \quad [11]$$

$$Y_{ikw}^C + D_{iw} X_{jw}^D \leq D_{iw} \quad \forall_{i \in I \ j \in \{j \mid d_{ij}^1 < d_{ik}^2\} \ k \in K \ w \in W} \quad [12]$$

$$Y_{jkwv}^{DC} + D_{iw} X_{k'w}^C \leq D_{iw} \quad \forall_{j \in J \ k \in K \ k' \in \{k \mid d_{jk}^3 < d_{jk}^3\} \ w \in W \ v \in W} \quad [13]$$

$$Y_{ijw}^D \leq D_{iw} X_{jw}^D \quad \forall_{i \in I \ j \in J \ w \in W} \quad [14]$$

$$Y_{ikw}^C \leq D_{iw} X_{kw}^C \quad \forall_{i \in I \ k \in K \ w \in W} \quad [15]$$

$$Y_{jkwv}^{DC} \leq S_{wv}^{DC} \sum_{i \in I} D_{iw} X_{kw}^C \quad \forall_{j \in J \ k \in K \ w \in W \ v \in W} \quad [16]$$

$$Y_{ijw}^D = 0 \quad \forall_{i \in I \ j \in J \ w \in W \ j \in \{j \mid d_{ij}^1 > d^{Dmax}\}} \quad [17]$$

$$Y_{ikw}^C = 0 \quad \forall_{i \in I \ k \in K \ w \in W \ k \in \{k \mid d_{ik}^2 > d^{Cmax}\}} \quad [18]$$

$$X_{jw}^D X_{kw}^C \in \{0, 1\}, \quad Y_{ijw}^D Y_{ikw}^C Y_{jkwv}^{DC} Y_{kjwv}^{CD} \geq 0 \quad \forall_{i \in I \ j \in J \ k \in K \ w \in W \ v \in W} \quad [19]$$

A função objetivo representada em [1] pretende melhorar o acesso geográfico, através da minimização do tempo total de percurso ponderado pela utilização. A restrição [2] é relativa à procura de serviços hospitalares, determinando que toda a procura deve ser satisfeita por um HD ou por um HC. As restrições [3] e [4] definem respetivamente os fluxos ascendentes e descendentes na hierarquia. As restrições [5] e [6] são auxiliares na formulação matemática e determinam a capacidade hospitalar com base nos fluxos de entrada direta nas unidades hospitalares, nas transferências de outros serviços dentro da mesma unidade e de transferências de unidades de nível diferente. No caso do serviço de internamento, a capacidade é convertida em camas. As restrições [7] e [8] estabelecem que a capacidade hospitalar é limitada por valores máximos e mínimos que indiretamente modelam questões de economias de escala. As equações [9] a [13] modelam a regra de afetação

escolhida, estabelecendo que a procura deve ser satisfeita pela unidade mais próxima. As restrições [14] a [16] asseguram que a afetação e referenciação são feitas para unidades abertas. Estas restrições são redundantes na formulação matemática pois as restrições de capacidade máxima ([7] e [8]) igualmente regulam a afetação, sendo porém usadas para fortalecer a relaxação linear e melhorar o desempenho do modelo. As restrições [17] e [18] impõem um tempo máximo de percurso que não pode ser excedido para a procura ser considerada satisfeita. As restrições [19] são relativas à natureza das variáveis e definem condições de integralidade e não negatividade.

O modelo de programação matemática anteriormente descrito permite modelar de forma genérica questões relevantes no planeamento de redes hospitalares. No entanto, o modelo pode ser expandido para contemplar outras questões específicas relacionadas com a sua aplicação em casos particulares. As restrições [20] a [22] são exemplos de questões adicionais que podem surgir – as restrições estão definidas para o caso de HD, mas restrições semelhantes podem ser definidas para HC.

$$\sum_{j \in J} X_{jw}^D = p \quad \forall_{w \in W} \quad [20]$$

$$X_{jw}^D = 0 \quad \forall_{j \in \{j | \text{pop}_j < \text{pop}^{D \min}\}, w \in W} \quad [21]$$

$$X_{j \text{int}}^D \geq X_{j \text{urg}}^D \quad \wedge \quad X_{j \text{int}}^D \geq X_{j \text{ce}}^D \quad \forall_{j \in J} \quad [22]$$

A restrição [20] determina o número de unidades em funcionamento/ou a abrir, definido por  $p$ . Na restrição [21] as potenciais localizações para novas unidades são avaliadas em função da sua população. Desta forma a restrição determina que a população de uma potencial localidade ( $\text{pop}_j$ ) deve ter uma dimensão mínima ( $\text{pop}^{D \min}$ ), caso contrário essa abertura não é permitida ( $X_{jw}^D=0$ ). Apesar de ser possível a prestação dos diferentes serviços hospitalares em separado, existem sinergias na sua prestação conjunta dentro da mesma unidade, e economias de gama (Samuelson e Nordhaus, 2010) uma vez que a prestação de diferentes serviços pode partilhar os mesmos recursos físicos e humanos, gerando ganhos a nível da produção hospitalar e no atendimento ao

utente. Desta forma a restrição [22] estabelece que, por exemplo, o serviço de urgência ( $w=urg$ ) e de consulta externa ( $w=ce$ ) só pode ser prestado por unidades que disponham do serviço de internamento ( $w=int$ ).

O modelo apresentado considera que o principal objetivo do decisor é a melhoria da acessibilidade geográfica, o que justifica a escolha da função objetivo [1]. Contudo, na reorganização da rede, questões relativas ao custo são indispensáveis para viabilizar os projetos. Neste estudo os custos operacionais e de investimento em novas unidades são determinados após a otimização, através das equações [23] e [24], produzindo informação para o decisor sobre o custo de cada configuração da rede.

$$TOC^D = \sum_{w \in W} \sum_{j \in J} cap_{jw}^D CO_{jw}^D \quad [23]$$

$$TIC^D = \sum_{j \in J_E} (cap_{jint}^D - icap_{jint}^D) CE_{jint}^D + \sum_{J \in J_N} cap_{jint}^D CI_{jint}^D \quad [24]$$

A equação [23] permite determinar os custos operacionais relativos aos hospitais distritais (TOCD) através da capacidade hospitalar instalada ( $cap_{jw}^D$ ) e dos custos operacionais de prestação de cada serviço ( $CO_{jw}^D$ ). Através da equação [24] é possível determinar os custos de investimento em hospitais distritais ( $TIC^D$ ) que se dividem em custos de expansão ( $CE_{jint}^D$ ) de camas em serviços de internamento ( $w=int$ ) de hospitais existentes ( $J_E$ ), e custos de investimento ( $CI_{jint}^D$ ) para construção de novas unidades ( $J_N$ ). Para os HC foram introduzidas restrições semelhantes.

#### 4. Resolução do Caso de estudo

O modelo desenvolvido foi utilizado para estudar a reconfiguração da rede hospitalar da zona sul de Portugal que, como foi anteriormente descrito, é constituída por três Regiões de Saúde com características diferentes. Vários projetos de reorganização desta rede hospitalar têm sido discutidos publicamente, tendo sido alguns aprovados (estando atualmente em fase de construção) e outros encontram-se em fase de discussão e análise, dada a atual situação económica do país. Estes projetos que envolvem a reorganização da

rede estão sumariamente descritos na Tabela 3 e serão explorados ao longo do caso de estudo.

Tabela 3: Projetos para a reorganização da rede Hospitalar da zona sul de Portugal.

Região de Saúde de Lisboa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unidade de substituição com 600 camas em Lisboa.</li> <li>- Novas unidades em Sintra e Loures (unidade que está atualmente em construção sendo esperada a sua abertura para breve)</li> <li>- Unidades de substituição em Cascais e Vila Franca de Xira</li> <li>- Nova unidade com cerca de 150 camas no Seixal</li> <li>- Expansão da unidade de Almada</li> </ul>
Região de Saúde do Alentejo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unidade de substituição de carácter central em Évora com cerca de 384 camas</li> </ul>
Região de Saúde do Algarve	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manutenção do Hospital de Faro (com cerca de 486 camas)</li> <li>- Construção de uma nova unidade de carácter central (550 camas) no eixo Faro-Loulé</li> <li>- Construção de um novo HC e manter parte da capacidade da atual unidade localizada em Faro</li> </ul>

Na secção seguinte (secção 4.1) são apresentados e discutidos os dados usados na resolução do caso de estudo e posteriormente são analisados os resultados obtidos (secção 4.2).

#### 4.1. Dados

A aplicação do modelo hierárquico multi-serviço desenvolvido necessitou de informação relacionada com a procura e oferta dos serviços hospitalares, dados que estão sintetizados na Tabela 4. A procura por serviços de saúde foi determinada com base em estimativas da população por concelho (INE, 2006) e em índices de utilização dos serviços. Para estimar os índices de utilização do serviço de internamento recorreu-se à base de dados que contém informação sobre atendimentos no serviço de internamento classificados de acordo com os Grupos de Diagnóstico Homogéneo (GDH). Os índices de utilização para o serviço de internamento foram determinados tendo em conta a faixa etária e o género dos utentes. Esta base de dados permitiu ainda quantificar as transferências entre níveis hierárquicos no serviço de internamento. Para o caso do serviço de urgência e consulta externa foi usada informação reportada pela Direção Geral de Saúde (Ministério da Saúde, 2003), a qual permitiu ainda

estimar a percentagem de utentes que são internados após uma urgência e que necessitam de uma segunda consulta externa num HC.

Tabela 4: Parâmetros do modelo hierárquico.

	Notação	Valor	Descrição
Parâmetros Gerais	$D_{iw}$	$D_{i\text{int}}$	Índices de utilização determinados com base na utilização observada, de acordo com a faixa etária e género
		579	Número de consultas externas esperadas por 1 000 de habitantes
		584	Número de urgências esperadas por 1 000 de habitantes
	$S_{aw}$	9%	Percentagem de utentes transferidos da urgência para o internamento
	$S_{wv}^{DC}$	13%	Percentagem de utentes transferidos do internamento em HD para HC
		19,6%	Percentagem de utentes que necessita de uma consulta externa em HC depois de uma consulta em HD
	$S_{vw}^{CD}$	1.24%	Percentagem de utentes transferidos do internamento em HC para HD
	$alos_w^D$ $alos_v^C$	7 / 8.9	Demora média no internamento em HD/HC
	$capmin_{jw}^D$	150	Capacidade mínima no internamento para novos HD
	$capmin_{kw}^C$	300	Capacidade mínima no internamento para novos HC
	$pop^{D\text{min}}$	15 000	População mínima para a abertura de um HD
	$pop^{C\text{min}}$	50 000	População mínima para a abertura de um HC
	$\alpha$	0.5	Uma transferência recebe metade do peso de uma entrada direta
Parâmetros de custos	$CO_{jw}^D$ $CO_{kw}^C$	€ 380 / € 544	Custo médio de um dia de internamento em HD/HC
		€ 143 / € 119	Custo médio de uma urgência em HD/HC
		€ 94 / € 118	Custo médio de uma consulta externa em HD/HC
	$CI_{j\text{int}}^D$	€ 200 000	Custo de uma nova cama num novo HD
	$CI_{k\text{int}}^C$	€ 224 500	Custo de uma nova cama num novo HC
	$CE_{j\text{int}}^D$	€ 100 000	Custo de expansão de uma cama em HD existente
$CE_{k\text{int}}^C$	€ 124 750	Custo de expansão de uma cama em HC existente	

Relativamente à produção hospitalar foi necessário estimar a demora média no serviço de internamento, onde mais uma vez se recorreu à base de dados de GDH. O modelo considera a demora média diferente nos dois níveis hierárquicos para capturar as diferenças existentes na complexidade das situações tratadas em cada nível hierárquico. Relativamente à capacidade mínima a instalar em novas unidades, os dados usados têm por base o estudo para a reorganização da capacidade de Lisboa: (Ministério da Saúde, 2006a).

No presente estudo optou-se por não introduzir capacidade máxima nas unidades uma vez que, nas instâncias geradas com o caso de estudo da zona sul, existe uma rede hospitalar pré-existente que, ao ser considerada simultaneamente com limites na capacidade instalada e restrições de afetação à unidade mais próxima, resultaria numa estrutura pouco flexível e levaria a soluções não viáveis. A relaxação desta restrição de capacidade máxima nesta primeira abordagem permite dar ênfase à definição de áreas de influência.

As estimativas de custos operacionais foram determinadas com base em informação disponibilizada pela Administração Central do Sistema de Saúde que reporta a contabilidade analítica das unidades hospitalares (Ministério da Saúde, 2006b). Os dados relativos aos custos de investimento e de expansão são de um estudo realizado na Região de Saúde do Algarve (Região Saúde do Algarve, 2004).

O caso de estudo baseado na zona sul de Portugal compreende regiões urbanas e rurais com acessibilidades muito baixas, nomeadamente no Alentejo e no interior do Algarve. Neste contexto, a introdução de distâncias críticas relevantes para definir um nível de serviço adequado não é compatível com a definição de capacidade mínima hospitalar, tal como ilustrado em Mestre et al. (2012). Por este motivo optou-se por introduzir uma cobertura menos restritiva. Dado que o modelo considera a superestrutura inicial da rede e que esta contempla um HD em cada distrito, as restrições [17] e [18] foram adaptadas para impedir a afetação das populações a unidades fora do distrito (com exceção dos concelhos limítrofes onde já se observa a afetação para uma unidade fora do distrito). Esta definição de afetação é relevante em termos de planeamento regional e torna o modelo mais eficiente do ponto de vista computacional, uma vez que a eliminação de possíveis afetações diminui a complexidade do modelo. A adaptação das restrições [17] e [18] é feita alterando o domínio das restrições que em vez de ser limitado por uma distância ( $d^D \max, d^C \max$ ), passa a ser controlado por um parâmetro que define se o ponto de procura  $i \in I$  e a unidade  $j \in J$  pertencem ao mesmo distrito.

A qualidade dos resultados depende em grande parte do rigor dos dados. A informação acima descrita, apesar de ser a melhor disponível, apresenta algumas lacunas, nomeadamente no que respeita à qualidade da informação

sobre índices de utilização, transferências e custos. Por exemplo, os índices de utilização retratam a procura observada no passado, a qual pode estar condicionada pela oferta disponível; adicionalmente, espera-se que alterações devido à evolução tecnológica ou ao desenvolvimento de novas técnicas em saúde alterem o padrão futuro de prestação de cuidados de saúde. Face a estas limitações, foi realizada uma análise de sensibilidade aos parâmetros que têm maior incerteza associada.

## 4.2. Resultados

Na aplicação do modelo são estudados dois cenários (I e II) que capturam diferentes opções de reconfiguração da rede hospitalar. Estes cenários não têm como objetivo apresentar uma única resposta para a otimização da rede, mas ilustrar como o modelo pode ser usado para apoiar o processo de decisão e fornecer informação ao decisor sobre as consequências de diferentes alternativas.

O modelo foi implementado na linguagem *General Algebraic Modelling System* (GAMS) e resolvido usando a ferramenta comercial de otimização CPLEX 11 da IBM ILOG. Os resultados foram obtidos com um Intel® Core™ i3 CPU M350@2.27 GHz utilizando as definições de origem do GAMS/CPLEX e estabelecendo como critério de paragem a otimalidade.

### 4.2.1.1. Cenário I

Este cenário considera a reconfiguração da rede hospitalar mantendo as unidades atuais, ou seja, não permitindo o encerramento de unidades. Desta forma a reorganização da rede é obtida através de ajustes na capacidade instalada ou através de novas unidades que podem abrir em localidades que respeitem o requisito de população anteriormente definido. De forma a apresentar soluções viáveis para ajustes na capacidade instalada, considera-se possível uma redução na ordem dos 20% na capacidade de hospitais em regiões urbanas (com exceção de Lisboa onde se estabelece um mínimo de 2 000 camas) e de 30% para hospitais em regiões rurais. Esta redução diferenciada possibilita que as unidades localizadas em zonas rurais disponham de maiores reduções, o que é razoável considerando que estas zonas têm mais baixa acessibilidade e níveis mais baixos de procura.

Os resultados obtidos com a aplicação do modelo estão apresentados na Figura 2 onde se pode observar: a localização das unidades atualmente existentes e das unidades a abrir; as áreas de influência de cada unidade, definidas pelas cores; a referenciação entre os níveis hierárquicos representados através das setas; a capacidade a instalar em cada serviço recomendada pelo modelo (definida em termos camas para o serviço de internamento e do número de utentes servidos nos restantes serviços); e informação adicional sobre custos e sobre o desempenho do modelo.

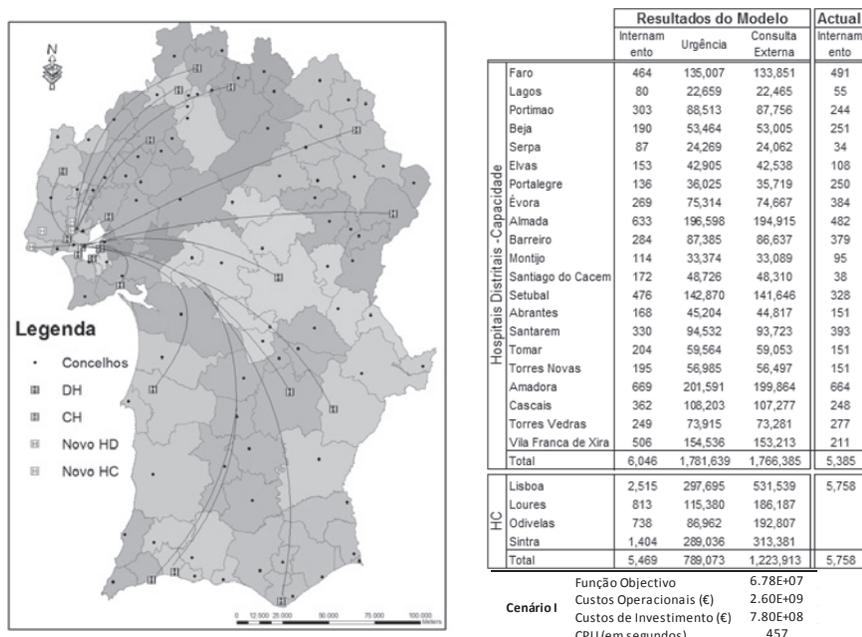


Figura 2: Rede hospitalar para o cenário I: localização, áreas de influência e capacidade.

Os resultados sugerem alterações na localização e capacidade da rede hospitalar, recomendando a dispersão da capacidade instalada na área metropolitana de Lisboa através da abertura de novas unidades (Loures, Odivelas e Sintra), sendo que duas das unidades propostas são projetos em construção (Loures) e em discussão (Sintra). O modelo propõe ainda alterações significativas na capacidade instalada para responder à procura observada, nomeadamente nos hospitais localizados nas regiões mais rurais. Os resultados apresentados na Figura 2 relativos ao número de utentes esperados no serviço

de urgência mostram que a meta de 150 atendimentos por dia no serviço de urgência (que corresponderia a cerca de 54 750 atendimentos por ano) (Ministério da Saúde, 2007) não é alcançada em todas as unidades, como sejam, por exemplo, os casos de Elvas e Serpa. Estes casos, para além de serem unidades de pequena dimensão, estão localizadas em zonas rurais com baixa densidade populacional. Nestas circunstâncias a necessidade deste serviço carece de uma análise mais detalhada para determinar a forma mais adequada de prestar um serviço de qualidade às populações. Este resultado ilustra que em regiões rurais é necessário estabelecer um compromisso entre equidade e eficiência, e que eventualmente as unidades hospitalares têm em certos casos de funcionar com dimensão/produção abaixo dos níveis de produção desejáveis para poderem prestar um serviço de proximidade. Alternativamente, uma menor acessibilidade hospitalar pode ser compensada por maior disponibilidade e acesso a cuidados de saúde primários.

A Figura 3 apresenta indicadores do tempo médio e máximo de percurso para populações que vivem em diferentes sub-regiões de saúde. Apesar do tempo médio de percurso ser inferior a quarenta e cinco minutos em todas as sub-regiões, existem valores preocupantes no que respeita ao tempo máximo de percurso, nomeadamente nas regiões rurais do Algarve e Alentejo, onde os valores máximos estão muito acima dos valores de referência que apontam para sessenta minutos (Ministério da Saúde, 2006a). Uma análise detalhada revela que estes tempos de percurso são observados para uma pequena proporção da população, sendo contudo necessário criar alternativas que podem passar eventualmente pelo reforço dos cuidados primários e/ou dos cuidados pré-hospitalares ao nível da urgência.

Dado que existe incerteza associada a alguns parâmetros, principalmente devido a limitações na informação recolhida (ver secção 4.1), foi realizada uma análise de sensibilidade para perceber quais as implicações nos resultados de variações nos parâmetros do modelo. Desta forma realizou-se uma análise aos parâmetros que se consideram mais críticos, como sejam os parâmetros que determinam as transferências e estabelecem os fluxos de utentes, a demora média no serviço de internamento, e a procura por serviços hospitalares, de acordo com:

- ✓ Análise de sensibilidade às transferências: testam-se aumentos nas taxas de transferência entre HD e HC de 2% (cenário HD-HC1) e 4% (cenário HD-HC2). No fluxo inverso HC-HD também são testados aumentos da mesma ordem de grandeza (resultado nos cenários HC-HD1 e HC-HD2).
- ✓ Análise de sensibilidade na demora média: analisa-se o impacto de diminuir a demora média no serviço de internamento em meio-dia (DM1) e um dia (DM2), dado que a redução da demora média é uma meta definida para o serviço hospitalar.
- ✓ Análise de sensibilidade à procura: testam-se variações na procura de serviços hospitalares. Considera-se uma redução de 2% (Proc 1) e um aumento de 2% (Proc 2).

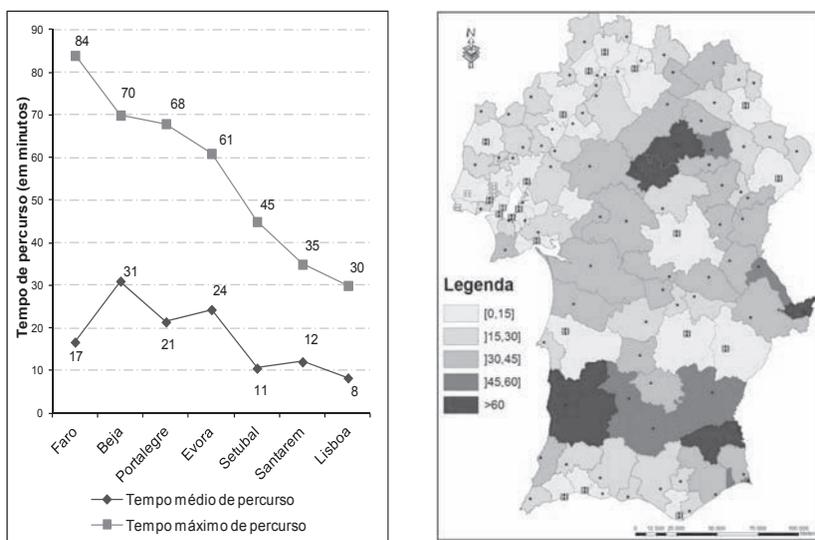


Figura 3: Tempo médio e máximo de percurso para o cenário I.

A Tabela 5 sintetiza os resultados obtidos na análise de sensibilidade e compara-os com os valores inicialmente obtidos para o cenário I (denominado na tabela por cenário base). Da análise de sensibilidade realizada pode-se concluir que os resultados são robustos no que respeita à localização. Porém, observam-se diferenças no que respeita ao dimensionamento das unidades: aumentos nas transferências entre HD e HC têm impacto direto na capacidade

dos HC e este aumento leva a acréscimos na capacidade instalada dos HD; aumentos nas transferências entre HC e HD apenas afetam as capacidades dos HD.

No que diz respeito aos resultados da demora média o impacto é muito mais significativo, podendo levar a uma diminuição significativa na capacidade total da rede. Por exemplo, uma redução da demora média em um dia justifica uma redução de 13% do total de capacidade instalada. Nesta análise de sensibilidade a função objetivo permanece inalterada, uma vez que a procura não sofre alterações. No entanto, os custos operacionais e de investimento sofrem uma redução que está associada à diminuição da capacidade instalada.

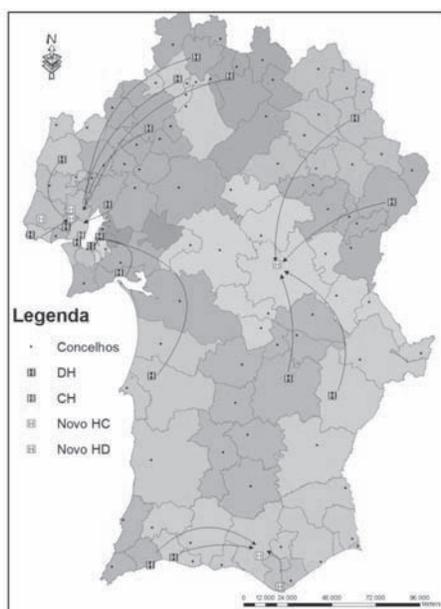
Relativamente a variações na procura observa-se que os resultados do modelo são robustos face à variação da procura testada ( $\pm 2\%$ ). Porém, os resultados dos cenários de variação de procura (Proc 1 e Proc 2) apresentam desvios significativos na capacidade instalada quando comparados com o cenário base, o que indicia que as decisões de localização podem ser mais sensíveis a alterações na procura.

#### 4.2.1.2. Cenário II

No cenário II são analisadas as possíveis alternativas para a reorganização da rede hospitalar atualmente em discussão. O cenário II parte dos mesmos pressupostos do cenário I, considerando igualmente informação adicional sobre a reorganização da rede. Contrariamente ao cenário I, o cenário II permite o encerramento de unidades que têm sido consideradas no âmbito da reorganização da rede (ver Tabela 3). Assim, no cenário II considera-se nomeadamente: o encerramento do HD de Évora de forma a testar a localização de uma unidade de substituição; a redução de capacidade ou o encerramento do HD de Faro de forma a testar a construção de uma nova unidade; e a redução da capacidade instalada em Lisboa de forma a testar a dispersão da capacidade hospitalar pela área metropolitana de Lisboa. Este cenário considera ainda as flutuações existentes na população da região do Algarve, com um conseqüente impacto na procura por serviços de saúde nessa região - assume-se para o efeito um aumento da procura de serviços de saúde de 10% para os habitantes desta região.

A Figura 4 apresenta os resultados do cenário II onde, em comparação com o cenário I, se observa a abertura de dois novos HC em Évora (unidade de substituição do atual HD) e Loulé que prestam, respetivamente, cuidados de nível superior para as populações do Alentejo e Algarve.7

No caso da Região de Saúde do Algarve o modelo sugere a manutenção da unidade hospitalar de Faro, de forma a aumentar o acesso dos utentes. No entanto, esta unidade passa a ter menos capacidade instalada e a servir apenas as populações de Faro e Olhão. Embora a solução apresentada no cenário II seja melhor (em relação á solução do cenário I) do ponto de vista da acessibilidade, ela representa uma solução muito mais dispendiosa (ver Figura 2 e Figura 4) pois requer a abertura de duas novas unidades de carácter central: uma em Évora e outra em Faro.



	Resultados do Modelo			Actual
	Internam ento	Urgência	Consulta Externa	Internam ento
Faro	219	65,529	64,969	491
Lagos	88	24,925	24,712	55
Portimao	256	73,439	72,811	244
Beja	190	53,464	53,005	251
Serpa	87	24,269	24,062	34
Elvas	153	42,905	42,538	108
Portalegre	136	36,025	35,719	250
Évora	633	196,598	194,915	384
Almada	284	87,385	86,637	482
Barreiro	114	33,374	33,089	379
Montijo	172	48,726	48,310	95
Santiago do Cacém	476	142,870	141,646	38
Setubal	168	45,204	44,817	328
Abrantes	330	94,532	93,723	151
Santarem	204	59,564	59,053	393
Tomar	195	56,985	56,497	151
Torres Novas	669	201,591	199,864	151
Amadora	362	108,203	107,277	664
Cascais	249	73,915	73,281	248
Torres Vedras	249	73,915	73,281	277
Vila Franca de Xira	596	154,536	153,213	211
<b>Total</b>	<b>5,742</b>	<b>1,697,954</b>	<b>1,683,419</b>	<b>5,385</b>
Loulé	662	106,904	146,614	5,758
Évora	530	75,314	113,498	
Lisboa	1,946	297,695	413,023	
Loures	813	115,380	186,187	
Odivelas	738	86,962	192,807	
Sintra	1,404	289,036	313,381	
<b>Total</b>	<b>6,092</b>	<b>971,291</b>	<b>1,365,510</b>	<b>5,758</b>
Função Objectivo				5.88E+07
Cenário II Custos Operacionais (€)				2.70E+09
Custos de Investimento (€)				1.13E+09
CPU (em segundos)				335

Figura 4: Rede hospitalar para o cenário II: localização, áreas de influência e capacidade.

Tabela 5: Resultados da análise de sensibilidade às transferências e à demora média.

	Transferências HD-HC		Transferências HC-HD		Demora Média		Procura por serviços					
	Base	HD-HC 1	HD-HC 2	Base	HC-HD 1	HC-HD 2	Base	DM1	DM2	Proc 1	Base	Proc 2
Valor do Parâmetro	13,0%	15,0%	17,0%	1,2%	3,2%	5,2%	7,00	6,50	6,00	-2%	----	+ 2%
Função Objectivo	6,78E+07	6,81E+07	6,83E+07	6,78E+07	6,79E+07	6,79E+07	8,90	8,40	7,90	6,85E+07	6,78E+07	6,92E+07
Custos Operacionais (€)	2,60E+09	2,63E+09	2,66E+09	2,60E+09	2,61E+09	2,61E+09	2,60E+09	2,48E+09	2,36E+09	2,55E+09	2,60E+09	2,66E+09
Custos Investimento (€)	7,80E+08	7,96E+08	8,12E+08	7,80E+08	7,81E+08	7,82E+08	7,80E+08	7,17E+08	6,56E+08	7,58E+08	7,80E+08	8,01E+08
CPU (em segundos)	457	407	462	457	478	430	457	412	389	447	457	422
Faro	464	465	465	464	466	467	464	431	398	455	464	474
Lagos	80	80	80	80	81	81	80	75	69	79	80	82
Portimao	303	303	303	303	304	305	303	282	260	297	303	309
Beja	190	190	190	190	191	191	190	177	163	186	190	194
Serpa	87	87	87	87	88	88	87	81	75	86	87	89
Elvas	153	153	153	153	153	154	153	142	131	150	153	156
Portalegre	136	136	136	136	137	137	134	127	117	134	136	139
Évora	269	269	269	269	269	270	269	250	230	263	269	274
Almada	633	633	634	633	635	637	633	588	543	621	633	646
Barreiro	284	284	284	284	285	286	284	264	244	279	284	290
Montijo	114	114	114	114	114	114	114	106	98	112	114	116
Santiago do Cacém	172	172	172	172	173	173	172	160	147	169	172	176
Setúbal	476	476	476	476	477	478	476	442	408	467	476	486
Abraantes	168	168	168	168	168	169	168	156	144	164	168	171
Santarem	330	330	330	330	331	332	330	306	283	323	330	337
Tomar	204	204	204	204	205	205	204	190	175	200	204	208
Torres Novas	195	196	196	195	196	196	195	182	168	192	195	199
Amadora	669	669	669	669	671	672	669	621	573	656	669	682
Cascais	362	362	363	362	363	364	362	336	311	355	362	370
Torres Vedras	249	249	249	249	250	250	249	231	213	244	249	254
Vila Franca de Xira	506	506	506	506	507	508	506	470	433	496	506	516
Lisboa	2.515	2.597	2.680	2.515	2.515	2.515	2.515	2.374	2.232	2.465	2.515	2.565
Loures	813	838	864	813	813	813	813	767	721	796	813	829
Odivelas	738	757	776	738	615	738	848	684	644	711	738	740
Sintra	1.404	1.430	1.456	1.404	1.527	1.404	1.293	1.337	1.257	1.388	1.404	1.445

## 5. Discussão e trabalho futuro

Este trabalho propõe uma ferramenta para apoiar o planeamento de redes hospitalares num sistema que tem por base um Serviço Nacional de Saúde. O trabalho foi motivado pela necessidade de reorganização da rede hospitalar na região sul de Portugal. Para o efeito desenvolveu-se um modelo de localização hierárquico e multi-serviço cujo objetivo é a maximização do acesso das populações. Os cenários desenvolvidos introduzem diferentes pressupostos para a reorganização da rede hospitalar e permitem exemplificar a natureza dos resultados que podem ser recolhidos, como a localização e dimensionamento das unidades hospitalares, a definição das áreas de influência e indicadores de nível de serviço. Desta forma, o modelo provou ser uma ferramenta de apoio à decisão útil e flexível para modelar diversos cenários de interesse para o decisor.

O modelo considera a estrutura hierárquica das unidades hospitalares e modela em detalhe os fluxos de utentes entre unidades hospitalares a diferentes níveis e entre serviços hospitalares. Considera ainda outras questões relevantes para o planeamento de redes hospitalares, como sejam limites na capacidade instalada, critérios de afetação das populações que permitem definir áreas de influência e a existência de uma superestrutura hospitalar.

Este modelo foi também aplicado no âmbito de um projeto de reestruturação da rede hospitalar na Administração Regional da Saúde do Norte (ARSN). Do ponto de vista da decisão, a característica que se afigurou mais importante, tal como no caso acima descrito, foi a natureza integrada dos resultados que através de uma análise quantitativa abrangente disponibiliza informação sobre localização, dimensionamento, referenciação e áreas de influência. Por outro lado, a flexibilidade do modelo foi importante para testar diferentes cenários e realizar análise de sensibilidade a parâmetros incertos. Sendo uma rede hospitalar na ARSN constituída por várias unidades, as decisões mais relevantes neste caso de estudo prenderam-se com o dimensionamento das unidades existentes e conseqüente redefinição das áreas de influência das unidades, e a possibilidade de construir unidades de substituição. Sendo uma rede mais compacta que a analisada no caso de estudo da zona sul, foi necessário introduzir pequenas alterações no modelo. A

mais relevante foi a introdução de fluxos diretos para unidades de nível superior devido à existência de referenciação direta dos cuidados primários para estas unidades.

Apesar da generalidade e flexibilidade do modelo, tal como foi demonstrada neste caso de estudo, existem ainda aspetos que devem ser alvo de estudo. Nomeadamente, o modelo aqui proposto representa uma primeira abordagem onde o objetivo principal é a maximização da acessibilidade enquanto os custos são estimados após otimização. A integração de questões de acesso e custos numa análise bi-objetivo onde soluções de compromisso entre estes objetivos tipicamente conflituosos são definidas é um dos aspetos já em estudo pelas autoras. Os primeiros resultados desta abordagem podem ser encontrados em Mestre et al. (2011). A questão relativa ao planeamento futuro também deverá ser analisada através da introdução de um horizonte temporal que permita delinear a rede hospitalar tendo em conta a evolução do sistema. É de notar que embora as decisões mais importantes sejam aquelas que têm impacto imediato, é necessário acautelar que estas não limitem escolhas futuras e é necessário considerar projeções sobre possíveis estados do sistema (p.e. em parâmetros da procura e oferta ao longo do tempo).

Será igualmente importante analisar a robustez das localizações face a diferentes cenários, através de um modelo de programação estocástica, onde os potenciais cenários de incerteza possam ser explicitamente incluídos, e o modelo forneça soluções de compromisso. Os primeiros resultados deste trabalho podem ser encontrados em Mestre et al. (2010).

## Bibliografia

- BARROS, P. P., S. R. MACHADO, e Outros., "Portugal: Health systems review", *Health Systems in Transition*, n.ºs 13(4), 2011, pp. 1-156.
- DASKIN, M., *Network and discrete location*, New York, Wiley Interscience, 1995.
- DASKIN, M., "What you should know about location modelling", *Naval Research Logistics*, n.ºs 55, 2008, pp. 283-294.
- DASKIN, M. S. and L. K. DEAN, *Location of health care facilities*, *Handbook of OR/MS in health care: a handbook of methods and applications*. F. Sainford, M. Brandeau and W. P. (eds). Boston, Kluwer, 2004, pp. 43-76.
- DÖKMECI, V. F., "An optimization model for a hierarchical spatial system", *Journal of Regional Science*, n.ºs 13(3), 1973, pp. 439.

GALVÃO, R. D., L. G. A. ESPEJO, e Outros., "A hierarchical model for the location of perinatal facilities in the municipality of Rio de Janeiro", *European Journal of Operational Research*, n°s 138(3), 2002, pp. 495-517.

GERRARD, R. and R. CHURCH, "Closest assignment constraints and location models: properties and structure", *Location Science*, n°s 4(4), 1996, pp. 251-270.

INE. "XIV census - Instituto Nacional de Estatística" Retrieved Info Service: [www.ine.pt](http://www.ine.pt), 2006.

MARIANOV, V. and D. SERRA, *Location problems in the public sector Facility Location: applications and theory*. Z. Drezner and H. Hamacher. Berlin, Springer, 2004, pp. 119-143.

MARSH, M. T. and D. A. SCHILLING, "Equity measurement in facility location analysis: A review and framework", *European Journal of Operational Research*, n°s 74(1), 1994, pp. 1-17.

MAYHEW, L. D. and G. LEONARDI, "Equity, efficiency, and accessibility in urban and regional health-care systems", *Environment and Planning A*, n°s 14(11), 1982, pp. 1479-1507.

MEHEREZ, A., Z. SINUANY-STERN, e Outros., "On the implementation of quantitative facility location models: the case of hospital in a rural region", *Journal of the Operational Research Society*, n°s 47(5), 1996, pp. 612-625.

MELO, M. T., S. NICKEL, e Outros., "Facility location and supply chain management - A review", *European Journal of Operational Research*, n°s 196(2), 2009, pp. 401-412.

MESTRE, A., M. OLIVEIRA, e Outros. *Hospital network planning under uncertain demand*. Proceedings of the Uncertainty and Robustness in Planning and Decision Making conference, Coimbra - Portugal, 2010.

MESTRE, A., M. OLIVEIRA, e Outros. *Planning hospital networks: A dynamic and multiobjective approach*. Proceedings of the 37th Operational Research Applied to Health Services (ORAHs) conference: Operational Research Informing National Health Policy, Cardiff, United Kingdom, School of Mathematics, Cardiff University, 2011.

MESTRE, A., M. OLIVEIRA, e Outros., "Organizing hospitals into networks: a hierarchical and multiservice model to define location, supply and referrals in planned hospital systems", *OR Spectrum*, n°s 34(2), 2012, pp. 319-348.

MINISTÉRIO DA SAÚDE "Centros de saúde e hospitais: recursos e produção do SNS". Lisboa, (2003).

MINISTÉRIO DA SAÚDE "Reordenamento das capacidades hospitalares da cidade de Lisboa". Lisboa, (2006a).

MINISTÉRIO DA SAÚDE "Contabilidade Analítica - Hospitais do SNS". Lisboa, (2006b).

MINISTÉRIO DA SAÚDE "Proposta da rede de urgências - Relatório Final". Lisboa, (2007).

MOORE, G. and C. S. REVELLE, "The hierarchical service location problem", *Management Science*, n°s 28(7), 1982, pp. 775-780.

NARULA, S. C., "Minisum hierarchical location-allocation problems on a network: a survey", *Annals of Operations Research*, n°s 6, 1986, pp. 257-272.

OWEN, S. H. and M. S. DASKIN, "Strategic facility location: A review", *European Journal of Operational Research*, n°s 111(3), 1998, pp. 423-447.

RAHMAN, S. and D. K. SMITH, "Use of location-allocation models in health service development planning in developing nations", *European Journal of Operational Research*, n°s 123(3), 2000, pp. 437-452.

REGIÃO SAÚDE DO ALGARVE "Plano Director Regional da Saúde do Algarve." Faro, (2004).

REVELLE, C. S. and H. A. EISELT, "Location analysis: A synthesis and survey", *European Journal of Operational Research*, n°s 165(1), 2005, pp. 1-19.

RUTH, R. J., "A mixed integer programming model for regional planning of a hospital inpatient service", *Management Science*, n°s 27(5), 1981, pp. 521-533.

SAHIN, G. and H. SÜRAL, "A review of hierarchical facility location models", *Computers & Operations Research*, n°s 34(8), 2007, pp. 2310-2331.

SAMUELSON, P. A. and W. D. NORDHAUS, *Economics*, New York, McGraw-Hill 2010.

SMITH, H., P. HARPER, e Outros. "Bicriteria efficiency/equity hierarchical location models". Working Paper - 152075, University of Southampton, (2010).

SMITH, H. K., P. R. HARPER, e Outros., "Planning sustainable community health schemes in rural areas of developing countries", *European Journal of Operational Research*, n°s 193(3), 2009, pp. 768-777.

TOREGAS, C., R. SWAIN, e Outros., "The location of emergency service facilities", *Operations Research*, n°s 19(6), 1971, pp. 1363-1373.