



# **OTIMIZAÇÃO DO PLANEAMENTO DE TRATAMENTOS EM CLÍNICAS DE FISIOTERAPIA**

**por**

**Maria Teresa de Lemos da Silva Cruz Janeira**

**Dissertação de Mestrado de Gestão e Economia de Serviços de Saúde**

**Orientada por:**

Professor Doutor José Fernando Gonçalves

2012

## **Breve nota bibliográfica**

Maria Teresa de Lemos da Silva Cruz Janeira nasceu em 19 de novembro de 1986 na cidade do Porto. Em 2004 ingressou no Instituto de Ciências da Saúde da Universidade Católica Portuguesa no Porto, onde concluiu a Licenciatura em Enfermagem. Iniciou a sua carreira como profissional de enfermagem em 2008 no Hospital da Prelada onde permaneceu até 2011. Em Abril deste ano iniciou funções de enfermeira na nova entidade hospitalar, Idealmed – Unidade Hospitalar de Coimbra, onde se encontra até ao momento. No ano letivo de 2008/2009 realizou uma pós-graduação em Gestão e Direção de Serviço de Saúde na Oporto Business School. Em 2010 ingressou na Faculdade de Economia da Universidade do Porto no Mestrado em Gestão e Economia de Serviços de Saúde, de cuja frequência resultou esta dissertação orientada pelo Professor Doutor José Fernando Gonçalves.

## **Agradecimentos**

Apesar de uma dissertação ser um trabalho individual, existem diversos contributos que não podem e nem devem deixar de ser destacados pois, sem eles, esta investigação não teria sido possível. Por isso, não posso deixar de expressar os meus sinceros agradecimentos:

Ao Professor Doutor José Fernando Gonçalves, meu orientador, pela competência científica e acompanhamento do trabalho, pela disponibilidade revelada, assim como pelas críticas, correções e sugestões relevantes feitas durante a orientação que contribuíram de forma decisiva para o meu desenvolvimento científico e pessoal.

Ao Fisioterapeuta Gabriel Martins da Costa pela disponibilidade e simpatia demonstrada quando me recebeu no Centro Médico da Murtosa.

Às minhas grandes amigas Ana Rebello de Andrade, Benedita Aroso, Francisca Pinto Machado e Rita Sapage que sempre me apoiaram e deram força e motivação para continuar.

Aos meus Pais pelo estímulo, apoio e paciência que demonstraram nos meus momentos de stress e por criarem todas as condições para que conseguisse elaborar esta dissertação sem nunca me deixarem desistir.

À restante família que indiretamente facilitou o meu dia-a-dia com miminhos e boa disposição.

Ao Rolf e ao Tico que passaram horas ao meu lado, não me deixando nunca sozinha nesta longa caminhada.

Aos meus colegas da IdealMed que, constantemente, facilitaram as trocas de horário e pelo ânimo que me deram.

E, finalmente, a todos os meus amigos pelas mensagens de força e persistência.

Mais uma vez, a todos o muito obrigada por ajudarem a tornar isto tudo possível!

## **Resumo**

O recurso, cada vez mais recorrente, de serviços de saúde, devido ao envelhecimento da população, associado à crise económica atual obrigam à necessidade crescente de adotar boas práticas de gestão. Por isso um planeamento eficiente dos recursos existentes nas organizações com o intuito de reduzir custos, nunca negligenciando a qualidade dos cuidados, é uma das diretrizes das instituições de saúde.

Este trabalho procura estudar o problema existente em clínicas onde se efetuam tratamentos, particularmente de fisioterapia, que impliquem a existência de recursos fixos e móveis necessários durante cada sessão de tratamento. Esta investigação tem como finalidade aumentar a eficiência dos recursos existentes nas instituições através de uma gestão eficaz desses mesmos recursos, procurando conciliar da melhor forma a utilização dos recursos fixos e móveis, criando condições apropriadas para a consecução desse objetivo.

Procurou-se, então, desenvolver uma nova abordagem que pudesse não só modelar a existência de rotas alternativas para os tratamentos, contando com a restrição da ocupação permanente de um dos recursos ao longo de todo o tratamento, independentemente da rota alternativa pela qual se optou. Esta nova abordagem combina um algoritmo genético com um procedimento que gera planos ativos.

**Palavras-Chave:** Agendamento, Sequenciamento, Clínicas de Fisioterapia, Algoritmo Genéticos.

## **Abstract**

Due to population's aging the use of health services is increasing. The current economic crisis also lead to the adoption of proficient management practices. Therefore, an efficient planning of existing resources in organizations in order to reduce costs, never neglecting the quality of care, is one of the guidelines of health institutions.

This paperwork aims to study the issue mentioned above in existing clinics where treatments are carried out. Physiotherapy, for example, implies the existence of fixed and mobile resources during each treatment session. The purpose of this research is to boost the efficiency of existing resources in the institutions through an effective management. Thus, balancing the fixed and mobile resources we create the appropriate conditions to achieve the aimed goal.

We tried then, to develop a new approach that models the existence of alternative routes for the treatments. This approach, not only restricts the permanent occupation of resources during the treatment regardless the route by which alternative was chosen but also combines a genetic algorithm with a procedure that generates active plans.

**Keywords:** Planning, Scheduling, Physiotherapy Clinics, Genetic Algorithms.

## Índice

Breve nota bibliográfica.....	i
Agradecimentos .....	ii
Resumo .....	iii
Abstract.....	iv
Índice .....	v
Índice de Figuras.....	vii
Índice de Tabelas .....	viii
1. Introdução.....	1
2. O Problema.....	3
3. Metodologia de Investigação.....	6
4. Revisão da bibliografia.....	8
4.1 Programação inteira .....	8
4.2 Programação linear estocástica .....	10
4.3 Programação dinâmica .....	11
4.4 Simulação.....	11
4.5 Programação linear e Programação de bloqueio multi-modo de Job Shop .....	12
4.6 Programação inteira mista e Simulação .....	13
4.7 Geração de colunas e Algoritmo Genético.....	13
4.8 Branch-and-price.....	14
5. Abordagem proposta .....	15
5.1 Algoritmo Genético.....	17
5.1.1 Representação Cromossómica .....	17

5.1.2	Descodificação das Rotas .....	17
5.1.3	Descodificação das Prioridades das Atividades.....	18
5.2	Estratégia Evolutiva .....	18
6.	Testes Experimentais.....	20
6.1	Dados.....	20
6.2	Cenários alternativos .....	22
6.3	Resultados .....	22
7.	Conclusão .....	24
8.	Limitações e futuras investigações .....	25
9.	Referências Bibliográficas.....	26

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> – Exemplo de um possível problema. ....	4
<b>Figura 2</b> – Exemplo de solução possível para o problema. ....	4
<b>Figura 3</b> – Modelo conceptual. ....	15
<b>Figura 4</b> – Arquitetura da abordagem. ....	16
<b>Figura 5</b> – Representação Cromossómica.....	17
<b>Figura 6</b> – Exemplo de um cruzamento. ....	19
<b>Figura 7</b> – Transição de geração. ....	19
<b>Figura 8</b> – Centro Médico da Murtosa.....	20

## **Índice de Tabelas**

<b>Tabela 1</b> – Durações e consumo de recursos dos tratamentos tipo.....	21
<b>Tabela 2</b> – Rotas alternativas nos tratamentos tipo.....	21
<b>Tabela 3</b> – Tabela de Cenários.....	22
<b>Tabela 4</b> – Tabela de Resultados. ....	22

## **1. Introdução**

Nos dias de hoje, é recorrente a comunicação social abordar problemas referentes ao setor da saúde, como as listas de espera, o aumento da despesa pública, a falta de pessoal especializado, entre outras. Com uma população cada vez mais envelhecida o recurso aos serviços de saúde é cada vez mais frequente, nomeadamente os de fisioterapia. Conseguir um melhor rendimento operacional dos recursos das unidades de saúde é um fator cada vez mais crucial na área da gestão das unidades de prestação de serviços de saúde. Uma programação eficiente dos recursos humanos e materiais existentes nas organizações de saúde, com a finalidade de reduzir custos mantendo simultaneamente um atendimento de qualidade, tornou-se uma das grandes prioridades das instituições de saúde. Para atingir este propósito é imperativo identificar o uso ineficaz dos recursos e atuar de forma a eliminar as fontes de desperdício. A procura de técnicas para atingir estes fins tem aumentado. Procuramos com este nosso trabalho contribuir para esse objetivo tendo, no entanto, consciência de que se trata de um desafio complicado de concretizar.

No presente trabalho a questão que se pretende estudar é o problema existente em clínicas onde se efetuam tratamentos, particularmente de fisioterapia, entre outros, que implicam a existência de recursos fixos e móveis disponíveis durante cada sessão de tratamento. O estudo tem como primordial objetivo o aumento da eficiência dos recursos existentes na instituição através de uma gestão eficaz desses mesmos recursos, procurando conciliar da melhor forma a utilização dos recursos fixos e móveis, criando condições apropriadas para a consecução desse objetivo. Procura-se, com este estudo, encontrar uma solução genérica para este tipo de problema através da utilização de um algoritmo genético.

Nesta dissertação, todos os autores citados, modelos propostos e abordagens apresentadas, referem-se, à otimização do planeamento de recursos humanos e materiais do bloco operatório, minimizando custos e melhorando a qualidade dos serviços e atendimento. Estudamos estes autores e analisamos as suas abordagens, porque consideramos poderem adaptar-se ao problema objeto desta dissertação, que se prende com a otimização do planeamento de tratamentos em clínicas de fisioterapia.

Em termos de organização a dissertação foi estruturada em seis partes/capítulos que pretendem encadear de forma lógica a investigação efetuada. Assim, inicia-se com a descrição do problema a estudar e da metodologia a utilizar. Posteriormente, faz-se a descrição dos pontos mais importantes de publicações e artigos científicos da revisão bibliográfica. Seguidamente, apresenta-se a abordagem proposta para o problema, bem como os resultados obtidos. Por fim, são apresentadas as principais conclusões sobre as disposições apresentadas nos capítulos anteriores, é feita a avaliação dos objetivos, são apontadas as limitações do estudo e também se enunciam perspetivas futuras de pesquisa e desenvolvimento.

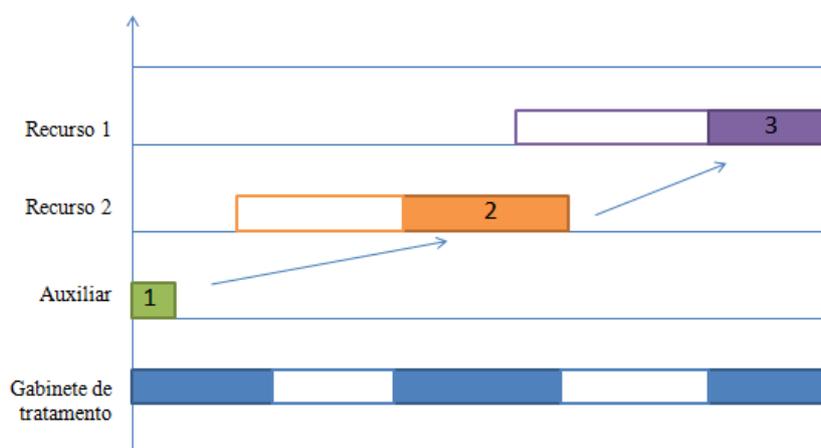
## 2. O Problema

Esta dissertação tem como objetivo desenvolver uma abordagem para tentar resolver o problema de um agendamento rentável de clínicas de tratamentos, em particular as de fisioterapia de modo a obter um maior aproveitamento dos recursos disponíveis. As clínicas de fisioterapia apresentam uma lacuna no planejamento/agendamento dos tratamentos de fisioterapia que se traduz em tempos de espera desnecessários devido aos recursos mal aproveitados. A rentabilidade destas clínicas pode ser melhorada trazendo vantagens não só para o cliente, pois é atendido num período mais curto de tempo, mas também para a própria clínica que, com uma gestão mais eficaz, pode atender mais clientes. Este tipo de clínicas têm características próprias e a essência do problema está em conjugar da melhor forma essas características. Estas clínicas dispõem de recursos fixos e móveis, que podem ser otimizados se forem objeto de uma gestão flexível, bastando, para isso, alterar a ordem dos atos. Inicialmente, os pacientes são sujeitos a um plano de fisioterapia, previamente prescrito pelo médico antes da primeira sessão de tratamento. Cada paciente possui um plano próprio adequado ao seu quadro clínico. Em cada sessão de tratamento são utilizados vários recursos existentes na instituição, como é o caso dos gabinetes - recursos fixos. Cada gabinete é ocupado por um só paciente durante todo o tempo destinado ao tratamento, independentemente de estar ou não a receber algum tipo de terapia. Além dos recursos fixos existem os móveis que incluem os recursos humanos (fisioterapeutas, enfermeiros e auxiliares de ação médica) e os recursos materiais / (dispositivos médicos) de cuja disponibilidade depende a sequência dos atos. Como exemplo, podemos apresentar um caso ocorrido numa clínica de fisioterapia em que o tempo de espera do paciente foi bastante superior ao tempo efetivo de tratamento. Tentaremos demonstrar, de seguida, como é possível reduzir o tempo de espera desse paciente. Vejamos um caso concreto de uma sessão de tratamento:

- Após a chegada do paciente à clínica, este é acompanhado pelo auxiliar de ação médica até ao gabinete de tratamento. Ao paciente são dadas informações sobre o tratamento pelo profissional de saúde e é colocado um dispositivo médico para aquecimento do local a tratar para posteriormente se proceder às diversas terapias.

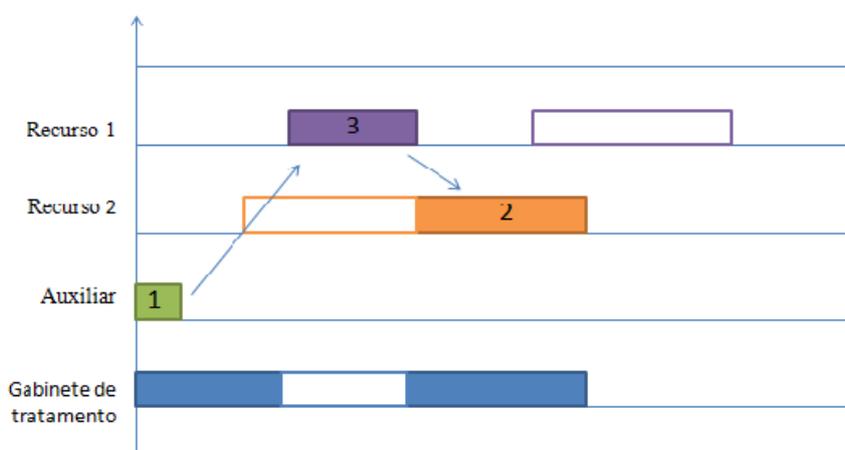
- De seguida, o paciente aguarda até que o auxiliar de ação lhe retire o aparelho e coloque outro dispositivo médico (recurso 2). O tempo de espera do paciente depende da disponibilidade do profissional de saúde ou da disponibilidade do dispositivo necessário para a terapia.

- Posteriormente, após o término do tratamento com o dispositivo médico, o auxiliar de ação médica retira o aparelho e o paciente aguarda que o fisioterapeuta (recurso 1) fique disponível para o atender. É preciso ter em conta que estão vários gabinetes de tratamentos ocupados ao mesmo tempo e que não existem recursos humanos e materiais destinados exclusivamente a cada gabinete. Como se pode observar no mapa de Gantt traduzido pela figura 1, o paciente tem tempos de espera entre os tratamentos.



**Figura 1** – Exemplo de um possível problema.

Uma solução possível é alterar a ordem da utilização dos recursos (figura 2).



**Figura 2** – Exemplo de solução possível para o problema.

Na figura 2, pode-se observar que os tempos de espera do paciente foram diminuídos, pois alterou-se a ordem dos atos. Verificou-se que o recurso 1 estava disponível antes do recurso 2, daí, optou-se por realizar o tratamento com o recurso 1 em primeiro lugar e posteriormente com o recurso 2. Assim verifica-se que o tempo efetivo de tratamento é igual ao tempo que o paciente permaneceu no gabinete de tratamento. Com este exemplo pretende-se encontrar uma solução genérica para este tipo de problemas. Neste caso é apresentada uma clínica de fisioterapia mas pode ser adaptada a outro tipo de realidades com o mesmo tipo de problema, ou seja, que apresentem recursos fixos e recursos móveis, em que a ordem da utilização dos recursos móveis possa ser alterada, não requerendo uma sequência fixa.

### **3. Metodologia de Investigação**

Na elaboração desta dissertação optei por seguir este procedimento metodológico por considerar ser o mais adequado para atingir os resultados pretendidos. A escolha da metodologia foi feita em função da natureza do problema a estudar e serviu de guia à elaboração do projeto e dissertação.

- **Revisão da bibliografia**

O objetivo deste ponto é tomar conhecimento das abordagens existentes e categorizá-las de acordo com alguns critérios. São feitas várias consultas bibliográficas temáticas, de modo a aprofundar os conhecimentos das várias matérias a abordar. Neste sentido, a revisão bibliográfica irá incidir sobretudo nos temas de programação, agendamento e sequenciamento de atos médicos, como por exemplo, em cirurgias e unidades de cuidados pós-anestésicos e em métodos de otimização relacionados com o agendamento e sequenciamento de atividades/tarefas.

- **Proposta de abordagem para o problema**

Nesta fase analisar-se-á a possibilidade de adequar alguma das abordagens existentes e caso não seja possível ir-se-á desenvolver uma nova abordagem para o problema.

- **Avaliação da abordagem proposta**

Nesta fase, far-se-á a avaliação do desempenho da abordagem proposta que incluirá as seguintes etapas:

- Identificação das características dos problemas (nº de operações, nº de recursos, duração de cada operação, etc.);
- Geração de várias instâncias de acordo com as características identificadas no ponto anterior;

- Aplicação da abordagem proposta a cada uma das instâncias geradas e registo do respetivo desempenho.

- **Análise dos resultados e conclusões**

Nesta fase, ir-se-á identificar as vantagens e desvantagens da abordagem proposta e retirar as respetivas conclusões.

## **4. Revisão da bibliografia**

Na revisão bibliográfica foi analisado um vasto leque de artigos, livros, publicações e relatórios sobre agendamento, programação e sequenciamento na área da saúde. O estudo procurou satisfazer a necessidade de informação relativamente ao tema e à sua aplicabilidade no ramo da saúde.

Neste processo de levantamento e análise do que já foi publicado sobre o tema verificou-se a existência de vários estudos sobre agendamento e sequenciamento na área da saúde, nomeadamente no bloco operatório e unidade de cuidados pós-anestésicos (UCPA). Constatou-se, no entanto, que no caso das clínicas de fisioterapia estes modelos ainda não tinham sido estudados/aplicados. Diversos autores focam que os problemas de agendamento na sala de operações são de extrema importância, pois são os locais nos hospitais onde existe uma maior despesa. Consequentemente, procura-se fazer uma gestão que reduza custos, controlando vários fatores, como uma ocupação intensiva do bloco, sem horas de não ocupação, destacando o pessoal estritamente necessário para tratar do doente, não descurando nunca o nível de qualidade. Um planeamento do agendamento eficaz dos recursos e atividades traz benefícios às instituições.

Na informação recolhida verificou-se que os autores usam vários modelos/abordagens para solucionarem os diferentes problemas existentes. O método mais utilizado é o de programação inteira, no entanto também são utilizados vários métodos em simultâneo, ou seja recorrem à programação mista. No texto que se segue, tentou-se categorizar as abordagens existentes de acordo com o método que foi selecionado pelos autores para resolver o problema.

### **4.1 Programação inteira**

Jebali *et al* (2006) fazem uma abordagem, no seu artigo, de duas etapas hierárquicas para resolver um problema de programação determinística de agendamento múltiplo de sala de operações com restrições relacionadas com o equipamento cirúrgico. O primeiro passo consiste em agendar intervenções cirúrgicas para salas de operação através do modelo de programação inteira que minimiza o custo total de horas extras, horas de

tempo de espera desnecessário entre a hospitalização do paciente e a cirurgia. O segundo passo consiste em sequenciar as operações agendadas no passo anterior. Este sequenciamento é determinado através da resolução de um modelo de programação inteira que tem como intuito minimizar o tempo total das horas extra na sala de operações. Esta abordagem é baseada em metas de melhoria operacional de utilização da sala. As experiências mostram o bom desempenho das operações de sequenciamento sem reconsiderar o problema de atribuição, bem como a precisão dessa etapa em termos de seleção de pacientes, minimizando o custo total. Não foram tidas em consideração situações de prioridade como, por exemplo, cirurgias de urgência, ou cirurgias que deveriam ser efetuadas em determinada sequência por razões de higiene e segurança ou risco de contaminação.

Testi e Tanfani (2009) apresentam um modelo de programação linear inteira que inclui as fases de *master surgery scheduling* (define o número e o tipo de sala de operações, o tempo de disponibilidade da sala e os cirurgiões ou equipes de cirurgia que têm prioridade na escolha das salas) e *elective case scheduling* (planeamento diário das intervenções cirúrgicas). Este modelo de programação do bloco operatório assume a perspectiva do paciente, procurado minimizar a perda do seu bem-estar. Afeta, durante um determinado período de planeamento, blocos de tempo das salas de operações a sub-especialidades cirúrgicas, bem como a grupos de pacientes, ajustando os blocos disponíveis à especialidade adequada, no momento certo, ao paciente adequado, tendo em conta o seu estado de urgência.

Marques *et al* (2012) também utilizaram o modelo de programação linear inteira no planeamento semanal de cirurgias eletivas em lista de espera num horizonte temporal de uma semana, tendo como objetivo a otimização dos recursos das salas de operações para melhorar o funcionamento dos serviços cirúrgicos. As soluções não ideais foram melhoradas com uma heurística simples e eficiente. Estes resultados foram analisados e comparados com os atuais, comprovando que as soluções obtidas pela abordagem das autoras melhoram a utilização do bloco operatório, respeitando as condições impostas pelo hospital.

Cardoen *et al* (2009) estudaram o problema de otimização combinatória de objetivo múltiplo com o intuito de determinar a sequência dos pacientes para as salas de cirurgia

de ambulatório. Desenvolveram algumas abordagens de programação linear inteira mista, onde as soluções são de natureza exata ou heurística de modo a facilitar o processo de decisão. Para desenvolver um conjunto de testes artificiais foram recolhidos dados do UZ Leuven Campus Gasthuisberg na Bélgica e foram introduzidos 224 casos de modo a avaliar e comparar o desempenho computacional das abordagens algorítmicas.

Blake *et al* comprovam que numa primeira fase de planeamento, nas situações de distribuição em blocos fixos do tempo das salas de operações, o tempo do bloco operatório atribuído aos diversos grupos cirúrgicos é, com pouca frequência múltiplo do tempo definido para cada bloco temporal. A proposta destes autores é que através de uma modelo de programação inteira, os blocos de tempo das salas de operações sejam afetados aos diferentes grupos cirúrgicos, minimizando desta forma a sub-afetação de tempo das salas de operações.

Vissers *et al* propõem que a definição diária do número de horas disponíveis de cada sala de operações e do número de pacientes de cada categoria a serem intervencionados cirurgicamente, seja feita através de uma programação linear inteira mista. As categorias dos pacientes são definidas em função da necessidade de recursos (salas de operações, camas de recobro e enfermeiros). Segundo este modelo, o número de cirurgias de cada categoria a realizar por horizonte temporal, tem em conta o cumprimento de um valor de referência.

## **4.2 Programação linear estocástica**

Denton *et al* (2010) analisaram as versões determinísticas e estocásticas do problema de atribuição de cirurgias a salas de operações, tendo como principal objetivo minimizar o custo total fixo de abertura do bloco operatório e custo esperado de horas extras. Estes autores centraram-se apenas na atribuição e não consideraram o sequenciamento dentro das salas de operações. Descreveram dois tipos de modelos. No primeiro utilizaram um modelo de programação linear estocástica com variáveis binárias de dois estágios. No segundo utilizaram um modelo equivalente ao primeiro mas mais elaborado que tem como objetivo minimizar o custo máximo, tendo em conta a incerteza do tempo de duração de cada cirurgia. Para resolver o problema, desenvolvem desigualdades válidas

que reduziram a simetria, e utilizaram os limites inferior e superior do número ideal de abertura diária das salas de operações. Concluíram que a abordagem heurística é mais rápida do que a solução do modelo estocástico.

### **4.3 Programação dinâmica**

Liu *et al* (2011) estudaram o problema de programação das salas de operação aplicando uma estratégia de programação aberta. De acordo com essa estratégia, não é estipulado um tempo fixo para cada cirurgião. Os cirurgiões podem usar todos os horários disponíveis. Com base no modelo de Fei *et al* (2010), que é considerado próximo da realidade, Liu *et al* (2011), desenvolveram um algoritmo heurístico, baseado na programação dinâmica, para maximizar a eficiência da utilização das salas de operação minimizando o custo de horas extras. Resultados computacionais demonstraram que este algoritmo é eficiente, especialmente em instâncias de grande porte, onde encontra sempre soluções praticáveis enquanto o algoritmo de Fei *et al* (2010) não o faz.

### **4.4 Simulação**

Dexter *et al* (1999) utilizaram a simulação em computador de agendamento do bloco operatório para determinar o tempo a atribuir aos cirurgiões, selecionando os dias em que o agendamento das cirurgias eletivas pudesse maximizar a utilização da sala de cirurgia. Este modelo incluiu métodos diferenciados para determinar quando um paciente vai fazer uma cirurgia, a sua duração, o tempo de espera dos pacientes, as horas diárias de ocupação do bloco, e o número semanal de horas. Os espaços temporais são distribuídos de modo a maximizar a sua utilização segundo dois parâmetros: o método usado para decidir o dia da cirurgia e a duração média do tempo de espera dos pacientes. A utilização das salas de operações é maximizada pelo tempo de enchimento com o maior número de cirurgias possíveis. A chave para maximizar a utilização das salas de operações é determinar a quantidade adequada de tempo de bloqueio para distribuir a cada cirurgião e como escolher qual o dia para o agendamento da cirurgia de um. A simulação é utilizada em gestão para analisar problemas onde existe incerteza (por exemplo, duração do tempo de espera para a cirurgia dos pacientes). A simulação pode reproduzir o número de variáveis que ocorre no sistema que está a ser objeto de simulação (por exemplo, o número de horas de casos agendados) e é útil para explorar

quais os parâmetros que têm maior efeito sobre os resultados. Para realizar a simulação, o comportamento de vários parâmetros (por exemplo, a duração caso) foi representada por distribuições de probabilidade. O modelo de simulação utilizou números aleatórios extraídos dessas distribuições de probabilidade de gerar eventos incertos. Isto foi feito repetidamente para representar a programação de muitos pacientes em “*OR block time*” (tempo de sala de operações). A simulação por computador foi particularmente útil para este estudo porque algumas estratégias de agendamento propostas para salas de operações resultaram em diminutas utilizações das mesmas, o que representaria um risco económico para uma sala de operações real se estes algoritmos tivessem sido testados na prática clínica. O programa de computador foi elaborado de forma a que, fosse atribuída, a cada simulação, um certo de tempo de bloqueio para cirurgias eletivas, avaliando de seguida o tempo de não utilização da sala de operações nesses tempos. Cada simulação foi realizada com uma combinação diferente de valores para cinco parâmetros: algoritmo de escalonamento para determinar o dia da cirurgia do paciente, a média da duração de todas as cirurgias (em horas) realizadas por um cirurgião, tempo médio de espera (em dias) dos pacientes cuja cirurgia já tenha sido programada, o número de blocos de tempo atribuídos ao cirurgião por semana, e o número de horas de cada bloco. O resultado final deste modelo computacional foi a média da utilização das salas de bloco operatório para cirurgias eletivas. A metodologia da simulação por computador é importante dado que se obtêm dados que seriam difíceis de conseguir através de uma experimentação real.

#### **4.5 Programação linear e Programação de bloqueio multi-modo de Job Shop**

Pham e Klinkert (2008) propuseram uma nova abordagem da programação cirúrgica usando uma extensão do problema de programação de bloqueio multi-modo de *Job Shop*. Formularam o bloqueio multi-modo de *Job Shop* como um problema de programação linear inteira mista e discutiram a utilização do modelo de bloqueio multi-modo de *Job Shop* para agendamento de casos eletivos e *add-on* (casos de emergência, casos de urgência e casos eletivos cuja cirurgia não estava prevista). Esta abordagem ressalta a importância da interligação dos períodos cirúrgicos na programação de uma cirurgia e da coordenação vários recursos. No agendamento dos casos cirúrgicos deve

haver uma visão holística de todos os recursos necessários. A formulação da programação linear inteira mista proposta pelo multi-modo de *Job Shop* é flexível e adaptável ao agendamento de casos cirúrgicos em contextos muito diferentes de cuidados de saúde. A principal limitação na aplicação deste modelo é apresentar, apenas, soluções viáveis para casos de pequena envergadura além de ainda não ter sido totalmente validado com dados reais.

#### **4.6 Programação inteira mista e Simulação**

Zhang *et al* (2009) desenvolveram uma metodologia com o objetivo de minimizar o tempo de internamento dos pacientes que aguardam cirurgia. A metodologia desenvolvida consiste num modelo de programação inteira mista, que determina um modelo de distribuição de funcionamento semanal da sala de operações minimizando o custo de pacientes internados de acordo com o seu tempo de permanência. Para o planeamento da sala de cirurgia é apresentada uma metodologia de “*block time scheduling*” (modelo operacional de atribuição de salas cirúrgicas). Na formulação do modelo são consideradas prioridades como, por exemplo, situações emergência sobre não emergência e constrangimentos clínicos, como por exemplo, número máximo de horas atribuídas a cada especialidade, cirurgião, e disponibilidade de pessoal. A solução ótima do modelo analítico é inserida num modelo de simulação que capta parte da aleatoriedade dos processos (por exemplo, tempo de cirurgia, a taxa de procura, o tempo de chegada e não comparência dos pacientes de ambulatório) e não-linearidades. Na apresentação de um caso exemplo de um hospital de Los Angeles é demonstrado como o tempo de permanência dos pacientes que aguardam cirurgia pode ser reduzido, com uma eficiente atribuição do tempo da sala de operações.

#### **4.7 Geração de colunas e Algoritmo Genético**

Fei *et al* (2010) consideram uma abordagem semelhante à de Jebali *et al* (2005) e propuseram um cronograma cirúrgico semanal numa sala de operações, onde os tempos cirúrgicos são reservados para os cirurgiões independentemente da especialidade para resolver um problema de programação determinística de agendamento múltiplo. Com a estratégia de programação aberta, tanto as salas de operação como o recobro, são multifuncionais (ou seja, cada paciente pode ser operado pelo cirurgião específico numa

sala cirúrgica que esteja disponível). Procura-se, desta forma, maximizar a utilização das salas de cirurgia, reduzindo os custos de horas extras, minimizando o tempo desnecessário de espera entre os casos cirúrgicos. O planeamento semanal das salas de operações é resolvido em duas fases. Primeiro, é planeada a data da cirurgia de acordo com a disponibilidade de salas de cirurgia e cirurgiões. E posteriormente, com a programação diária determina-se a sequência de operações em cada sala, tendo em conta a disponibilidade de camas de recobro. O problema de planeamento semanal é resolvido por um procedimento heurístico de geração de colunas. O problema de escalonamento diário baseou-se nos resultados obtidos na fase de planeamento e foi resolvido por um algoritmo genético híbrido. Num hospital universitário belga, os resultados foram comparados com vários agendamentos cirúrgicos atuais em que o tempo de bloco foi atribuído, com vários meses de antecedência, a cirurgiões específicos ou especialidades. De acordo com os resultados da comparação concluiu-se que os agendamentos das cirurgias obtidos pelo método proposto, implicavam menos tempo mortos entre os atos cirúrgicos, permitindo uma taxa de utilização mais elevada das salas de operação e conseqüentemente uma diminuição das horas extras.

#### **4.8 Branch-and-price**

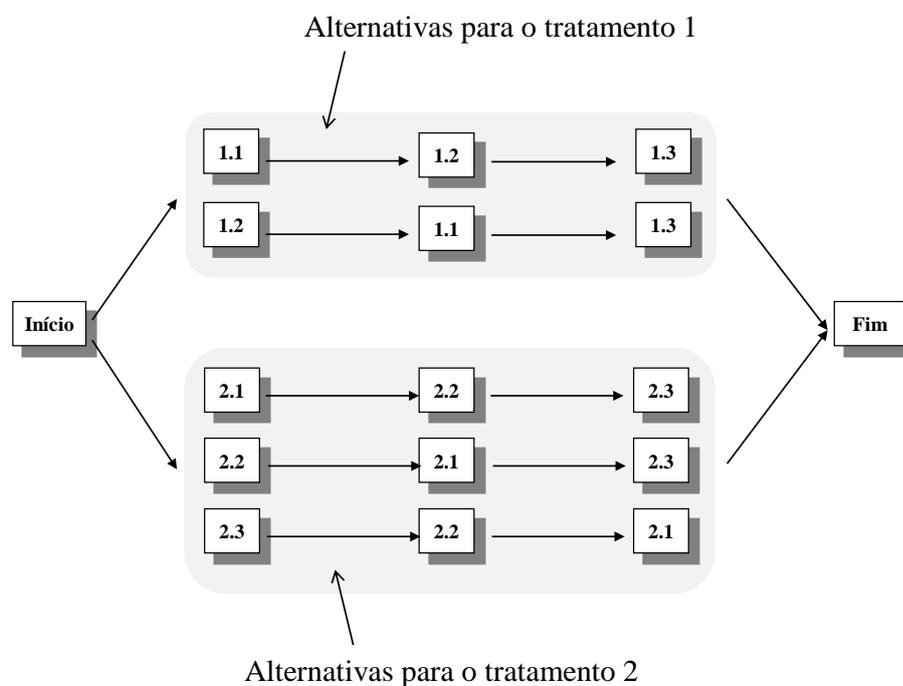
Beliën e Demeulemeester (2008) com o objetivo de reduzir custo com o pessoal propõem uma abordagem integrada dos processos de escalonamento dos enfermeiros e das salas de operações o escalonamento dos enfermeiros é feito em função das escalas de cirurgia. A seleção da escala de cirurgia é integrada num único problema denominado pelos autores de escalonamento generalizado de enfermeiros, problema que propõem resolver através de uma metodologia de *branch-and-price*

## 5. Abordagem proposta

Da análise da revisão da literatura resulta que o problema analisado nesta tese não tinha sido ainda abordado. Em face desta constatação procurou-se então desenvolver uma nova abordagem que pudesse não só modelar a existência de rotas alternativas para os tratamentos mas também impor a restrição de que um dos recursos se mantem ocupado ao longo de todo o tratamento (independentemente da rota alternativa usada).

Inicialmente, considerou-se a possibilidade de modificar modelos baseados no problema do *Job Shop*. Contudo, dada a possibilidade de existirem vários recursos idênticos que podem substituir-se uns aos outros, esta alternativa afigurou-se demasiado complicada. Optou-se então por modelar o problema usando uma abordagem baseada no planeamento de projetos com recursos limitados. (Mendes *et al*, 2009 e Gonçalves e Beirão, 1999)

A figura 3 apresenta o modelo conceptual que será usado. Na figura é apresentado um exemplo na qual existem dois tratamentos para realizar. O tratamento 1 tem duas alternativas e o tratamento 2 tem 3 rotas alternativas.



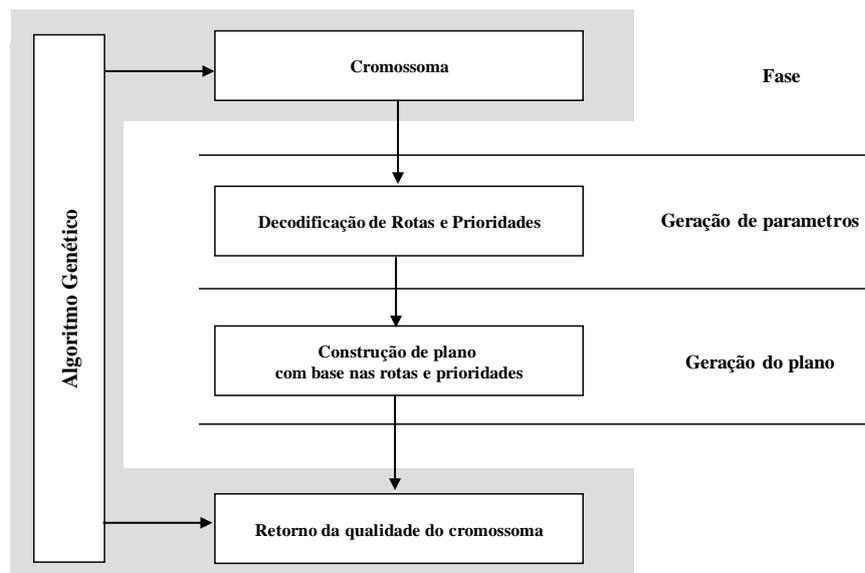
**Figura 3** – Modelo conceptual.

Dado o carácter combinatório do problema e a complexidade inerente optou-se por modelar o problema usando algoritmos genéticos baseados em chaves aleatórias. (Gonçalves e Resende, 2011)

A nova abordagem combina um algoritmo genético (AG) com um procedimento que gera planos ativos. Em termos gerais a abordagem consiste nas seguintes três fases:

- **Seleção das rotas alternativas.** Esta fase recorre ao AG para definir qual a rota alternativa que vai ser utilizada para cada tratamento.
- **Construção de planos.** Esta fase recorre a um esquema de geração de planos do tipo série para construir planos ativos com base nas alternativas escolhidas na fase anterior. A escolha da atividade a seleccionar em cada iteração do algoritmo é controlada através da prioridade associada a cada atividade que é gerada pelo AG;
- **Evolução das rotas e das prioridades.** Esta fase utiliza um algoritmo genético para evoluir (melhorar) as rotas seleccionadas e as prioridades utilizadas nas fases anteriores.

A Figura 4 ilustra a sequência de passos aplicados a cada cromossoma gerado pelo AG.



**Figura 4** – Arquitetura da abordagem.

Nas secções seguintes serão apresentados os detalhes da abordagem.

## 5.1 Algoritmo Genético

Seguidamente descrevem-se os detalhes do algoritmo genético utilizado.

### 5.1.1 Representação Cromossómica

Cada cromossoma (solução) é composto por  $(t + n)$  genes onde  $t$  representa o número de tratamentos  $n$  representa o número total de atividades. Os primeiros  $t$  genes são usados para selecionar a rota alternativa que cada tratamento irá usar os últimos  $n$  genes são usados para obter as prioridades associadas a cada atividade conforme ilustra a figura seguinte.

$$\text{Cromossoma} = ( \underbrace{\text{gene}_1, \dots, \text{gene}_t}_{\text{Rotas}}, \underbrace{\text{gene}_{t+1}, \dots, \text{gene}_{t+n}}_{\text{Prioridades}} )$$

Figura 5 – Representação Cromossómica.

### 5.1.2 Descodificação das Rotas

Conforme mencionado anteriormente os genes de 1 até  $t$  são usados para obter as rotas associadas a cada tratamento. A rota associada ao tratamento  $i$ ,  $Rota_i$ , é determinado pela seguinte expressão:

$$Rota_i = INT( Gene_i \times NúmeroRotas_i ) \quad i = 1, \dots, t$$

na qual  $NúmeroRotas_i$  é o numero de rotas possíveis para o tratamento  $i$  e  $INT(x)$  representa o menor inteiro maior do  $x$ .

### 5.1.3 Descodificação das Prioridades das Atividades

Conforme mencionado anteriormente os últimos  $n$  genes são associados a cada atividade. Foi utilizada a seguinte expressão para descodificação das prioridades associadas a cada atividade  $j$ :

$$PRIORIDADE_j = Gene_{t+j}, \quad j = 1, \dots, n$$

## 5.2 Estratégia Evolutiva

A população inicial de cromossomas é gerada aleatoriamente. Esta população será posteriormente transformada através da aplicação dos operadores genéticos.

A reprodução é inicialmente conseguida usando uma estratégia elitista, Goldberg (1989) na qual os melhores indivíduos de uma população são copiados para a geração seguinte. A vantagem desta estratégia é garantir que a melhor solução vá melhorando sucessivamente de geração para geração.

O operador de cruzamento adotado é do tipo uniforme parametrizado, Spears e DeJong (1991), em vez dos tradicionais cruzamentos simples, duplo ou multi-ponto. Neste tipo de cruzamento são escolhidos aleatoriamente dois cromossomas da população (incluindo os cromossomas que foram selecionados para pertencerem à geração seguinte) para darem origem a um cromossoma filho, e para cada gene do cromossoma filho é determinado qual o progenitor que contribuirá para o valor. É definida uma probabilidade de escolha, e para cada gene é gerado um número aleatório entre 0 e 1. Se o número gerado for inferior ou igual à probabilidade de escolha, é escolhido o gene do primeiro progenitor, caso contrário será escolhido o do segundo progenitor. Suponhamos que a probabilidade de escolha é 0.7, a Figura 6 exemplifica o processo de cruzamento de dois cromossomas.

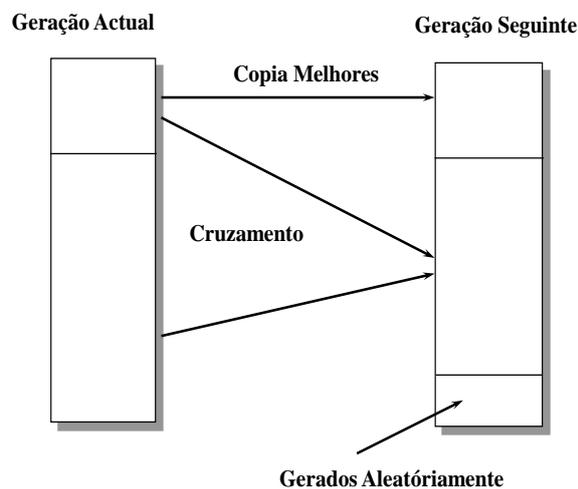
Se observamos o exemplo da Figura 6 verificamos que o primeiro gene do cromossoma filho (0.30) foi resultado do cromossoma do primeiro progenitor. Isto deve-se ao facto de o valor gerado para o primeiro gene (0.58) ser inferior à probabilidade de escolha (0.7) definida

Cromossoma Progenitor 1	<b>0.30</b>	<b>0.79</b>	<b>0.55</b>	<b>0.87</b>
Cromossoma Progenitor 2	<b>0.26</b>	<b>0.12</b>	<b>0.91</b>	<b>0.44</b>
Valores gerados	0.58	0.89	0.52	0.25
	<0.7	> 0.7	<0.7	<0.7
Cromossoma Filho	<b>0.30</b>	<b>0.12</b>	<b>0.55</b>	<b>0.87</b>

**Figura 6** – Exemplo de um cruzamento.

O operador de mutação em vez de utilizar a mutação gene a gene com baixa probabilidade, emprega o conceito de imigração. Em cada geração são gerados novos membros a partir da mesma distribuição utilizada para a geração da população inicial. Este processo visa evitar a convergência prematura de uma população.

A Figura 7 exemplifica o processo de transição de uma geração para a seguinte:



**Figura 7** – Transição de geração.

## 6. Testes Experimentais

### 6.1 Dados

Com vista a obter dados representativos do problema quando aplicada a clínicas de fisioterapia deslocamo-nos a CMM (Centro Médico da Murtosa-Medicina Física e de Reabilitação Lda.) na Murtosa para recolher informação (figura 8).



**Figura 8** – Centro Médico da Murtosa.

O número de diferentes tratamentos pode ascender às centenas. Contudo, após uma análise detalhada, verificou-se que em termos utilização dos recursos se poderiam considerar apenas três tipos de tratamentos que designaremos por T1, T2 e T3. Em relação aos recursos verificou-se também que existe um elevado número de recursos mas que apenas cinco recursos seriam de facto recursos limitados (designados por R1, R2, R3, R4 e R5). A tabela 1 apresenta as durações típicas e o consumo de recurso dos três tratamentos tipo.

**Tabela 1** – Durações e consumo de recursos dos tratamentos tipo.

<b>Tratamento</b>	<b>Ato</b>	<b>Duração (minutos)</b>	<b>Recursos</b>
<b>T1</b>	<b>1</b>	15	R1, R3
	<b>2</b>	15	R1, R2
	<b>3</b>	15	R1, R2, R4
	<b>4</b>	15	R1, R3, R5
	<b>5</b>	15	R1, R2
<b>T2</b>	<b>1</b>	15	R1, R3
	<b>2</b>	20	R1, R2
	<b>3</b>	20	R1, R2, R4
	<b>4</b>	20	R1, R3
<b>T3</b>	<b>1</b>	15	R1, R3
	<b>2</b>	20	R1, R3, R4
	<b>3</b>	15	R1, R2, R5
	<b>4</b>	20	R1, R2

Para cada tratamento foram consideradas como possíveis as rotas alternativas indicadas na tabela 2.

**Tabela 2** – Rotas alternativas nos tratamentos tipo.

<b>Tratamento</b>	<b>Alternativas (sequência dos atos)</b>
<b>T1</b>	<b>1, 2, 3, 4, 5</b>
	<b>2, 1, 3, 4, 5</b>
	<b>2, 3, 1, 4, 5</b>
<b>T2</b>	<b>1, 2, 3, 4</b>
	<b>1, 3, 2, 4</b>
	<b>2, 1, 3, 4</b>
	<b>3, 1, 2, 4</b>
<b>T3</b>	<b>1, 2, 3, 4</b>
	<b>1, 3, 2, 4</b>
	<b>3, 1, 2, 4</b>

## 6.2 Cenários alternativos

Dado que a procura diária de tratamentos nem sempre inclui o mesmo número de tratamentos de cada tipo foram considerados os cenários apresentados na tabela 3.

**Tabela 3** – Tabela de Cenários.

<b>Cenário</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>
<b>C1</b>	<b>33.3%</b>	<b>33.3%</b>	<b>33.3%</b>
<b>C2</b>	<b>20%</b>	<b>30%</b>	<b>50%</b>
<b>C3</b>	<b>30%</b>	<b>20%</b>	<b>50%</b>
<b>C4</b>	<b>20%</b>	<b>50%</b>	<b>30%</b>
<b>C5</b>	<b>30%</b>	<b>50%</b>	<b>20%</b>
<b>C6</b>	<b>50%</b>	<b>20%</b>	<b>30%</b>
<b>C7</b>	<b>50%</b>	<b>30%</b>	<b>20%</b>

Considerou-se que o número total de tratamentos por dia seria 44 (numero máximo de tratamentos por dia tendo em conta que se trabalha 9h/dia e existem 8 unidades de recurso R1).

## 6.3 Resultados

Com vista a avaliar o desempenho da abordagem foram consideradas duas alternativas. A primeira alternativa, que será designada por A0, apenas usa a rota 1 de cada tratamento (esta alternativa é uma estimativa otimista da situação atual na CMM). Na segunda alternativa, que será designada por AG, iremos usar todas as alternativas disponíveis para cada tipo de tratamento.

Na tabela 4 apresentamos para cada cenário a percentagem de redução do tempo total obtida pela alternativa AG em relação à alternativa A0.

Conforme se pode verificar na tabela 4 – Tabela de Resultados houve uma redução do tempo necessário que, dependendo do cenário, varia entre 3.8 % e 7.2%.

**Tabela 4 – Tabela de Resultados.**

<b>Cenário</b>	<b>(tempo A0 – tempo AG) / (tempo A0) x 100%</b>
<b>C1</b>	<b>5.3 %</b>
<b>C2</b>	<b>6.2 %</b>
<b>C3</b>	<b>4.4 %</b>
<b>C4</b>	<b>7.2 %</b>
<b>C5</b>	<b>3.8 %</b>
<b>C6</b>	<b>5.1 %</b>
<b>C7</b>	<b>4.7 %</b>

## **7. Conclusão**

As considerações finais que agora se tecem procuram sintetizar o trabalho consequente de uma revisão bibliográfica e de um estudo, que envolveu meses de investigação. A escolha do tema em causa – Otimização do Planeamento de Tratamentos em Clínicas de Fisioterapia – resultou do interesse que este tema me suscitou dada a sua importância relevante nas organizações de saúde na atual conjuntura.

Como foi verificado na literatura o problema das clínicas de fisioterapia nunca foi abordado daí se ter optado por moldar o problema usando algoritmos genéticos com um procedimento que gera planos ativos. Esta abordagem foi dividida em três fases: seleção de rotas alternativas, construção de planos e evolução das rotas e das prioridades. Posteriormente analisou-se o desempenho da abordagem proposta e comparou-se com a abordagem utilizada pela CMM. Dessa comparação foi possível concluir que a utilização de várias rotas é preferencial em relação à utilização da abordagem atual pois verificou-se uma redução do tempo necessário entre 3,8% e 7,2%.

Em conclusão, pode-se afirmar que a utilização das várias rotas alternativas de cada tratamento combinada com a otimização com algoritmos genéticos demonstrou ser mais vantajosa para a clínica pois reduz o tempo total necessário para realizar os tratamentos permitindo assim tratar mais utentes com os mesmos recursos.

## **8. Limitações e futuras investigações**

Acreditamos que esta dissertação trará novos contributos para uma melhoria de aproveitamento dos recursos das clínicas de fisioterapia. Temos, no entanto, noção de que poderão existir limitações à implementação das soluções propostas. Uma das limitações prende-se com a disponibilidade de horários da clínica que podem não coincidir com as preferências dos utentes. No entanto, no caso de alteração (por exemplo, desistência do paciente) estes poderão ser contactados de forma a fazer coincidir a nova disponibilidade de horários com as preferências anteriormente manifestadas colmatando, dessa forma, lacunas entretanto surgidas no agendamento dos tratamentos.

Apesar de se ter obtido resultados melhorados em relação à situação atual do Centro Médico da Murtosa, a criação dos sete cenários não foi exaustiva, daí também se apresentar como uma possível limitação. No futuro, mais cenários poderão ser criados.

Visto que não existem estudos efetuados nesta área clínica, uma investigação mais aprofundada e complementar noutras clínicas com características semelhantes poderá trazer novos contributos.

## 9. Referências Bibliográficas

Antunes, C., Tavares, L. (2000), *Casos de aplicação da Investigação Operacional*, McGraw-Hill, Portugal, pp. 150-183.

Beliën, J., Demeulemeester, E., (2008), A branch-and-price approach for integrating nurse and surgery scheduling, *European Journal of Operational Research*, N° 189, pp. 652–668.

Blake, J., Dexter, F., Donald, J. (2002), “Operating room managers’ use of integer programming for assigning block time to surgical groups: a case study”, *Anesthesia & Analgesia*, Vol. 94, N° 1, pp. 143–148.

Bronson, R., Naadimuthu, G. (2001), *Investigação operacional*, McGraw-Hill, 2ª Edição, Portugal.

Cardoen, B., Demeulemeester, E., Beliën, J. (2009), “Optimizing a multiple objective surgical case sequencing problem”, *International Journal of Production Economics*, N° 119, pp. 354–366.

Denton, B., Miller, A., Balasubramanian, H., Huschka, T. (2010), “Optimal allocation of surgery blocks to operating rooms under uncertainty”, *Operations Research*, Vol. 58, N° 4, Parte 1 de 2, pp. 802–816.

Dexter, F., Macario, A., Traub, R., Hopwood, M., Lubarsky, D. (1999), “An Operating Room Scheduling Strategy to Maximize the Use of Operating Room Block Time: Computer Simulation of Patient Scheduling and Survey of Patients’ Preferences for Surgical Waiting Time”, *Economics and Health Systems Research, Anesthesia & Analgesia*, N° 89, pp. 7-20.

Dexter, F., Wachtel, R., Epstein, R., Ledolter, J., Todd, M. (2010), “Analysis of Operating Room Allocations to Optimize Scheduling of Specialty Rotations for Anesthesia Trainees”, *Anesthesia & Analgesia*, Vol. 111, N° 2, pp. 520-524.

- Fei, H., Meskens, N., Chu, C. (2010), “Planning and scheduling problem for an operating theatre using an open scheduling strategy”, *Computers & Industrial Engineering*, N° 58, pp. 221–230.
- Goncalves, J., Beirão, N. (1999), “Um algoritmo genético baseado em chaves aleatórias para sequenciamento de operações”, *Revista Associação Portuguesa de Desenvolvimento e Investigação Operacional*, Vol. 19, N° 2, pp. 123-137.
- Gonçalves, J., Resende, M. (2011), “Biased random-key genetic algorithms for combinatorial optimization”, *Journal of Heuristics*, Vol. 17, N° 5, pp. 487-525.
- Hillier, F., Lieberman, G. (2010), *Introduction to Operations Research*, McGraw-Hill International Edition, 9° Edição.
- Jebali, A., Alouane, A., Ladet, P. (2006), “Operating rooms scheduling”, *International Journal of Production Economics*, N° 99, pp. 52-62.
- Koné, O., Artigues, C., Lopez, M. (2011), “Event-Based MILP models for resource-constrained project scheduling problems”, *Computers & Operations Research*, N° 38, pp. 3-13.
- Lui, Y., Chu, C., Wang, K. (2011), “A new heuristic algorithm for the operation room scheduling problem”, *Computers & Industrial Engineering*, N° 61, pp. 865-871.
- Marques, I., Captivo M., Vaz Pato, M. (2012), “An integer programming approach to elective surgery Scheduling - Analysis and comparison based on a real case”, *OR Spectrum*, N° 34, pp. 407–427.
- Mendes, J., Gonçalves, J., Resende, M. (2009), “A random key based genetic algorithm for the resource constrained project scheduling problem”, *Computers & Operations Research*, Vol. 36, N° 1, pp. 92-109.
- Pacheco, M. (1999), “Algoritmos Genéticos: Princípios e Aplicações”, ICA: Laboratório de Inteligência Computacional Aplicada, Departamento de Engenharia Elétrica Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Pham, D., Klinkert, A., (2008), “Surgical case scheduling as a generalized job shop scheduling problem”, *European Journal of Operational Research*, N° 185, pp. 1011–1025.

Testi, A., Tanfani, E., (2009), “Tactical and operational decisions for operating room planning: efficiency and welfare implications”, *Health Care Management Science*, N° 12 pp. 363–373.

Vissers, J., Adan, I., Bekkers, J. (2005), “Patient mix optimization in tactical cardiothoracic surgery planning: a case study”, *IMA Journal of Management Mathematics*, Vol. 16, N° 3, pp. 281–304.

Zhang, B., Murali, P., Belson, D. (2009), “A mixed integer programming approach for allocating operating room capacity”, *Journal of the Operational Research Society* N° 60, pp. 663-673.