



**Daniel Bouzon Nagem Assad**

**Planejamento e programação de cirurgias eletivas: estudo  
de caso em um hospital universitário**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para  
obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia de Produção do  
Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Silvio Hamacher  
Co-orientadora: Prof. Thaís Spiegel

Rio de Janeiro  
Julho de 2017



**Daniel Bouzon Nagem Assad**

**Planejamento e programação de cirurgias eletivas:  
estudo de caso em um hospital universitário**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

**Prof. Silvio Hamacher**

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

**Prof. Thaís Spiegel**

Co-orientadora

Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ

**Prof. Carlos Eduardo Virgini-Magalhães**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ

**Dra. Julia Lima Fleck**

Departamento de Engenharia Industrial - PUC-Rio

**Prof. Márcio da Silveira Carvalho**

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico - PUC-Rio

Rio de Janeiro, 13 de julho de 2017

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

## **Daniel Bouzon Nagem Assad**

Graduou-se em Engenharia de Produção pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) em 2015. Aluno de mestrado da PUC-Rio desde agosto de 2015

### Ficha Catalográfica

Assad, Daniel Bouzon Nagem

Planejamento e programação de cirurgias eletivas : estudo de caso em um hospital universitário / Daniel Bouzon Nagem Assad ; orientador: Silvio Hamacher ; co-orientadora: Thaís Spiegel. – 2017.

90 f. : il. color. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, 2017.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Industrial – Teses. 2. Scheduling. 3. Master surgical scheduling. 4. Programação linear inteira mista. 5. Hospital. I. Hamacher, Silvio. II. Spiegel, Thaís. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. IV. Título.

CDD: 658.5

## **Agradecimentos**

Agradeço aos professores Dr. Silvio Hamacher e Dr. Thaís Spiegel pelas orientações e paciência ao longo destes dois anos.

Ao Dr. Virgini e a toda equipe da cirurgia vascular do Hospital Universitário Pedro Ernesto pelo acesso, disponibilidade e paciência.

A CAPES, pela bolsa durante estes dois anos de curso.

A todos que de alguma forma me ajudaram nesta caminhada.

## Resumo

Assad, Daniel Bouzon Nagem; Hamacher, Silvio (Orientador); Spiegel, Thaís (Co-Orientadora). **Planejamento e programação de cirurgias eletivas: estudo de caso em um hospital universitário.** Rio de Janeiro, 2017, 90p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

As doenças vasculares são enfermidades graves e seus tratamentos são complexos e necessitam de procedimentos cirúrgicos. Para a realização desses procedimentos, são necessários equipamentos, equipes qualificadas e unidade de terapia intensiva (UTI) equipada para o pós-operatório. Hospitais de ensino devem atender à legislação vigente que preconiza um *número mínimo* de cirurgias para aprovação do residente no programa de formação. Assim, propõe-se, via otimização, encontrar soluções eficientes para o planejamento e programação de cirurgias eletivas que atendam à legislação. Este problema é tratado em 2 níveis. O primeiro é relativo ao planejamento e é chamado de *Master Surgical Schedule* (MSS) que consiste em definir os recursos necessários para a realização de um conjunto de procedimentos. O segundo se refere à programação e é chamado de *Surgical Case Assignment Problem* (SCAP) e tem por objetivo alocar o médico a cada cirurgia. Assim, foram propostos dois modelos de programação matemática, um para o MSS e outro para o SCAP. Estes modelos foram aplicados no caso real da alocação de residentes para cirurgias vasculares no Hospital Universitário Pedro Ernesto. Como resultado do modelo MSS, identificou-se a necessidade de mais anestesiistas e maior disponibilidade de equipamentos para atender à legislação de formação de residentes. Por fim, como resultado do SCAP, o quantitativo de cirurgias foi distribuído entre os cirurgiões de forma balanceada.

## Palavras-chave

*Scheduling; Master surgical Scheduling; programação linear inteira mista; hospital.*

## Abstract

Assad, Daniel Bouzon Nagem; Silvio (Advisor); Spiegel, Thaís (Co-Advisor). **Elective Surgeries Planning and scheduling: a case study at a university hospital**. Rio de Janeiro, 2017, 90p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Vascular diseases are serious diseases and their treatments are complex and require surgical procedures. In order to perform these procedures, is required equipment, qualified teams and an intensive care unit (ICU) equipped for the postoperative period. Teaching hospitals must comply with current legislation that recommend a minimum number of surgeries for the resident's approval in the training program. Thus, it is proposed, through optimization, to find efficient solutions for the planning and programming of elective surgeries that comply with the legislation. This problem is dealt with on two levels. The first is relative to planning and is called the Master Surgical Schedule (MSS), which consists of defining the necessary resources to perform a set of procedures. The second one refers to programming and is called Surgical Case Assignment Problem (SCAP) and aims to allocate the doctor to each surgery. Thus, two models of mathematical programming were proposed, one for MSS and another for SCAP. These models were applied in the real case of residents' allocation for vascular surgeries at Pedro Ernesto University Hospital. As a result of MSS model were identified the need for more anesthesiologists and greater availability of equipment ensure the cover of resident training legislation. Finally, as a result of SCAP, the quantity of surgeries was distributed equitably distributed among surgeons.

## Keywords

Scheduling; Master surgical Scheduling; mixed integer linear programming; hospital.

## Sumário

|                                                                                                |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>                                                                     | <b>11</b> |
| 1.1. OBJETIVOS DO TRABALHO .....                                                               | 12        |
| 1.2. RELEVÂNCIA DO TRABALHO .....                                                              | 12        |
| 1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO .....                                                               | 13        |
| <b>2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....</b>                                                    | <b>14</b> |
| 2.1. DESCRIÇÃO DO MÉTODO .....                                                                 | 14        |
| 2.2. REVISÃO DE LITERATURA .....                                                               | 15        |
| 2.3. SELEÇÃO DAS PALAVRAS-CHAVE .....                                                          | 15        |
| <b>3. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>                                                            | <b>19</b> |
| 3.1. GESTÃO DE OPERAÇÕES EM SAÚDE .....                                                        | 19        |
| 3.2. DESAFIOS DA GESTÃO HOSPITALAR .....                                                       | 22        |
| 3.3. CENTRO CIRÚRGICO .....                                                                    | 25        |
| 3.3.1. PLANEJAMENTO E PROGRAMAÇÃO DE SALAS DE CIRURGIA .....                                   | 26        |
| 3.3.1.1. PLANEJAMENTO E PROGRAMAÇÃO DE SALAS DE CIRURGIA POR NÍVEIS<br>HIERÁRQUICOS .....      | 27        |
| 3.4. PESQUISA OPERACIONAL APLICADA AO PLANEJAMENTO E<br>PROGRAMAÇÃO DE SALAS DE CIRURGIA ..... | 29        |
| 3.5. SÍNTESE DA REVISÃO DA LITERATURA .....                                                    | 36        |
| <b>4. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA .....</b>                                                          | <b>41</b> |
| 4.1. CARACTERIZAÇÃO DO HOSPITAL .....                                                          | 42        |
| 4.2. CASE MIX DE PACIENTES DEFINIDOS PELO REGULATÓRIO .....                                    | 43        |
| 4.3. PARAMETRIZAÇÃO DE RECURSOS .....                                                          | 46        |
| <b>5. MODELO TÁTICO PARA DIMENSIONAMENTO DE CAPACIDADE .....</b>                               | <b>48</b> |
| 5.1. NOMENCLATURA .....                                                                        | 49        |
| 5.2. FORMULAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO .....                                                     | 51        |
| 5.3. ESPECIFICAÇÃO DE CENÁRIOS COM REGRAS DE NEGÓCIO INATIVAS ..                               | 56        |
| 5.4. ESPECIFICAÇÃO DE CENÁRIOS COM REGRAS DE NEGÓCIO ATIVAS .....                              | 58        |
| 5.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS DO MODELO TÁTICO .....                                             | 58        |
| <b>6. MODELO OPERACIONAL DE ALOCAÇÃO DE RESIDENTES .....</b>                                   | <b>65</b> |
| 6.1. NOMENCLATURA .....                                                                        | 65        |
| 6.2. FORMULAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO OPERACIONAL .....                                         | 67        |
| 6.3. RESULTADOS DO MODELO OPERACIONAL .....                                                    | 69        |
| <b>7. CONCLUSÕES .....</b>                                                                     | <b>72</b> |
| 7.1. SÍNTESE DA PESQUISA .....                                                                 | 72        |
| 7.2. LIMITAÇÕES DA PESQUISA E PROPOSIÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS                                 | 73        |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                                                        | <b>75</b> |
| <b>APÊNDICE A – RESULTADOS DOS CENÁRIOS DO MASTER SURGICAL<br/>SCHEDULE .....</b>              | <b>80</b> |

## Lista de figuras

|                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Etapas da revisão da literatura .....                                                                                        | 17 |
| Figura 2 - Gastos totais (dólar per capta) com a saúde.....                                                                             | 20 |
| Figura 3 - Gastos públicos (dólar per capta) com saúde .....                                                                            | 20 |
| Figura 4 - Relação entre gastos com saúde e produto interno bruto. ....                                                                 | 21 |
| Figura 5 – Exemplo do <i>Master Surgery Schedule</i> (MSS). ....                                                                        | 28 |
| Figura 6 – horizonte de tempo de salas de cirurgia. ....                                                                                | 28 |
| Figura 7 – Impacto de eventos não esperados na programação de cirurgias.....                                                            | 29 |
| Figura 8 – Problemas de scheduling relacionados a salas de cirurgia.....                                                                | 29 |
| Figura 9 – <i>Framework</i> proposto por Guerriero & Guido (2011) para<br>enquadrar modelos de nível tático (MSS).....                  | 30 |
| Figura 10 – <i>Framework</i> proposto por Guerriero & Guido (2011) para<br>enquadrar modelos de nível operacional <i>off-line</i> ..... | 31 |
| Figura 11– Síntese da revisão da literatura.....                                                                                        | 39 |
| Figura 12 – Etapas de planejamento otimizado para gestão de centro cirúrgico.....                                                       | 42 |
| Figura 13 – classificação dos hospitais que integram o SUS. ....                                                                        | 42 |
| Figura 14 – Distribuição das cirurgias ao longo do tempo no cenário 1. ....                                                             | 60 |
| Figura 15 – Quantidade de salas alocadas ao longo do tempo no cenário 1. ....                                                           | 61 |
| Figura 16 – Quantidade de salas alocadas ao longo do tempo no cenário 1. ....                                                           | 81 |
| Figura 17 – Distribuição das cirurgias ao longo do tempo no cenário 1. ....                                                             | 81 |
| Figura 18 – Quantidade de salas alocadas ao longo do tempo no cenário 2. ....                                                           | 82 |
| Figura 19 – Distribuição das cirurgias ao longo do tempo no cenário 2. ....                                                             | 82 |
| Figura 20 – Quantidade de salas alocadas ao longo do tempo no cenário 3. ....                                                           | 83 |
| Figura 21 – Distribuição das cirurgias ao longo do tempo no cenário 3. ....                                                             | 83 |
| Figura 22 – Quantidade de salas alocadas ao longo do tempo no cenário 4. ....                                                           | 84 |
| Figura 23 – Distribuição das cirurgias ao longo do tempo no cenário 4. ....                                                             | 84 |
| Figura 24 – Quantidade de salas alocadas ao longo do tempo no cenário 5. ....                                                           | 85 |
| Figura 25 – Distribuição das cirurgias ao longo do tempo no cenário 5. ....                                                             | 85 |
| Figura 26 – Quantidade de salas alocadas ao longo do tempo no cenário 6. ....                                                           | 86 |
| Figura 27 – Distribuição das cirurgias ao longo do tempo no cenário 6. ....                                                             | 86 |
| Figura 28 – Quantidade de salas alocadas ao longo do tempo no cenário 7. ....                                                           | 87 |
| Figura 29 – Distribuição das cirurgias ao longo do tempo no cenário 7. ....                                                             | 87 |
| Figura 30 – Quantidade de salas alocadas ao longo do tempo no cenário 8. ....                                                           | 88 |
| Figura 31 – Distribuição das cirurgias ao longo do tempo no cenário 8. ....                                                             | 88 |
| Figura 32 – Quantidade de salas alocadas ao longo do tempo no cenário 9. ....                                                           | 89 |
| Figura 33 – Distribuição das cirurgias ao longo do tempo no cenário 9. ....                                                             | 89 |
| Figura 34 – Quantidade de salas alocadas ao longo do tempo no cenário 10.....                                                           | 90 |
| Figura 35 – Distribuição das cirurgias ao longo do tempo no cenário 10.....                                                             | 90 |



## Lista de Tabelas

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Artigos selecionados na revisão da literatura.....                                               | 19 |
| Tabela 2 – Categorização dos modelos táticos (MSS) encontrados na revisão da literatura.....                | 33 |
| Tabela 3 – Categorização dos modelos operacionais off-line (SCAP) encontrados na revisão da literatura..... | 35 |
| Tabela 4 – Síntese dos tipos de decisão por nível e horizonte de planejamento.....                          | 37 |
| Tabela 5 – Serviços cirúrgicos ofertados pelo HUPE.....                                                     | 43 |
| Tabela 6 – Quantidade mínima de procedimentos definida pela legislação vigente.....                         | 44 |
| Tabela 7 – Classificação dos procedimentos quanto a categoria e porte.....                                  | 45 |
| Tabela 8 – Relação entre tipos de cirurgia e insumos necessários.....                                       | 47 |
| Tabela 9 – Quantidade de instrumental cirúrgico disponível na central de material de esterilização.....     | 48 |
| Tabela 10 – Quantidade de residentes por tipo.....                                                          | 48 |
| Tabela 11 – Pesos e regras de negócio por cenário.....                                                      | 57 |
| Tabela 12 – Pesos e regras de negócio por cenário.....                                                      | 58 |
| Tabela 13 – Síntese dos resultados do modelo de dimensionamento no horizonte anual.....                     | 60 |
| Tabela 14 – distribuição da quantidade de cirurgias por grupo de residente do cenário 10.....               | 63 |
| Tabela 15 – distribuição da quantidade de cirurgias arteriais por grupo de residente do cenário 10.....     | 64 |
| Tabela 16 – síntese do cenário 10.....                                                                      | 64 |
| Tabela 17 – Paridade médico residente e médico de mesmo ano de residência.....                              | 66 |
| Tabela 18 – distribuição equilibrada da quantidade de por médico, por cirurgia e por porte.....             | 70 |
| Tabela 19 – distribuição equilibrada da quantidade de por médico, por cirurgia arterial e por porte.....    | 71 |

## Lista de quadros

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| Quadro 1 – Declaração de índices do modelo          |    |
| <i>Master Surgical Schedule</i> (MSS).....          | 49 |
| Quadro 2 – Declaração dos parâmetros do modelo      |    |
| <i>Master Surgical Schedule</i> (MSS).....          | 50 |
| Quadro 3 – Declaração das variáveis do modelo       |    |
| <i>Master Surgical Schedule</i> (MSS).....          | 51 |
| Quadro 4 – Declaração de índices do modelo          |    |
| <i>Surgical Case Assignment Problem</i> (SCAP)..... | 65 |
| Quadro 5 – Declaração dos parâmetros do modelo      |    |
| <i>Surgical Case Assignment Problem</i> (SCAP)..... | 66 |
| Quadro 6 – Declaração das variáveis do modelo       |    |
| <i>Surgical Case Assignment Problem</i> (SCAP)..... | 66 |

## 1. INTRODUÇÃO

As doenças vasculares são enfermidades graves e seus tratamentos são complexos e necessitam de procedimentos cirúrgicos especializados realizados em centros terciários de atenção à saúde. Para a realização desses procedimentos, são necessários equipamentos sofisticados, equipes qualificadas e unidade de terapia intensiva (UTI) equipada para o pós-operatório. Observadas em maior frequência em indivíduos de idade mais avançada, o aumento da expectativa de vida da população acarreta maior prevalência deste tipo de doença, o que tem gerado grande demanda no Sistema Único de Saúde (SUS) (MENDES et al., 2014).

Para os mesmos autores, apesar dos grandes avanços do SUS, muitos pacientes enfrentam dificuldades para o acesso a esse tipo de tratamento, especialmente por limitações no número de vagas e de acesso a hospitais de alta complexidade. Este atraso acarretam pior prognóstico para os pacientes podendo significar aumento no índice de amputações ou, até mesmo, aumento do índice de mortalidade.

De acordo com Barbagallo et al. (2015), ofertar uma melhor qualidade de atendimento com recursos limitados e ao menor custo contrastada com a crescente demanda por procedimentos e intervenções é um desafio da saúde a nível global que torna, portanto, o objetivo da otimização um tema central na gestão hospitalar moderna, à medida que busca aumentar a eficiência de recursos a partir do desenvolvimento de métodos avançados para planejar e programar seus processos.

Naturalmente, a definição do que é a “melhor qualidade de atendimento” pode ser discutida por diversas áreas de conhecimento com diferentes enfoques, teorias e abordagens (UCHIMURA & BOSI, 2002; HOGA, 2004; MORI & REY, 2012), mas nesta pesquisa não se tem como objetivo discutir dimensões subjetivas da qualidade que, de acordo com Uchimura & Bosi (2002), remete a um terreno pouco explorado que guarda diversos aspectos a serem revelados.

Assim, assume-se no escopo desta pesquisa que a melhor qualidade de atendimento está ligada à melhor formação do profissional de saúde, no caso, o residente de cirurgia vascular, e que esta, por sua vez, está ligada a critérios quantitativos que

atendam simultaneamente às exigências mínimas previstas pela legislação vigente e pelo preceptor (cirurgião responsável pelo treinamento dos médicos residentes).

Atendidos estes critérios, busca-se, via otimização, encontrar soluções eficientes para o planejamento de cirurgias eletivas, ou seja, que usem a menor quantidade de recursos possível.

### 1.1. OBJETIVOS DO TRABALHO

Esta pesquisa é aplicada a um caso do serviço de cirurgia vascular de um hospital universitário e de ensino e tem como objetivo:

1. *Dimensionar a quantidade de recursos que devem ser disponibilizados para assegurar a quantidade mínima de procedimentos cirúrgicos exigidos para habilitação no programa de residência;*
2. *Equilibrar a carga de trabalho entre os residentes de mesmo estágio;*

O primeiro objetivo se refere ao dimensionamento de recursos visando atender os critérios de formação especificados pelo regulatório e pelo chefe do serviço cirúrgico ao passo que, no segundo, usam-se as respostas do modelo anterior para alocar cada cirurgião com objetivo de equilibrar carga de trabalho.

Como delimitação, cabe ressaltar que considerou-se apenas o serviço de cirurgia vascular e, limitação no acesso aos dados referentes às demais clínicas, não foi possível incluir no estudo os recursos compartilhados no centro cirúrgico. Assim, definiu-se que todos os dias em que a vascular tiver salas é disponibilizado equipe de enfermagem, equipamentos, leitos e bolsas de sangue em níveis acordados. Ademais, trabalha-se com a hipótese de que a demanda por cada tipo de procedimento é ilimitada.

### 1.2. RELEVÂNCIA DO TRABALHO

No campo teórico, não foram encontrados artigos nas bases *SCOPUS* ou *ISI Web of Science* que tratassem do problema alocação de procedimentos cirúrgicos com

técnicas de otimização considerando aspectos normativos necessários para a formação/habilitação de profissionais (contribuição desta pesquisa).

No campo prático, aplicou-se uma abordagem quantitativa para “construir a ponte” entre os instrumentos normativos e as decisões de nível tático e operacional de uma organização hospitalar específica, ou seja, desenvolveu-se modelos que, de fato, subsidiem a tomada de decisão.

### **1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO**

Esta dissertação está organizada em 8 capítulos, sendo este primeiro dedicado à introdução e à apresentação do objetivo principal.

No capítulo 2 são apresentados os procedimentos metodológicos adotados, seleção de palavras chave e critérios para inclusão e exclusão de pesquisas. No capítulo 3 é apresentado o referencial teórico no intuito de contextualizar a pesquisa, apresentar conceitos relacionados ao tema, o que tem sido pesquisado e quais os desafios atuais. No final do capítulo 3 é apresentada uma síntese da revisão da literatura para fins de enquadramento desta pesquisa. No capítulo 4 são apresentadas características gerais do hospital e descrito o problema para que, no final do capítulo, seja proposto o modelo conceitual. No capítulo 5 é proposto e analisado os resultados do modelo tático hierarquizado que distribui diferentes tipos e portes de cirurgia ao longo dos dias (quando) e ao longo das salas (onde) considerando recursos humanos (tipo de residente e anestesista) e equipamentos necessários para a confecção das mesmas. No capítulo 6 é proposto e analisado os resultados do modelo operacional off-line que, tomando como base a resposta do modelo tático, distribui os diferentes tipos de cirurgia entre cada cirurgião residente. No capítulo 7 são feitas as considerações finais, apontadas limitações da pesquisa e são sinalizadas possíveis extensões da mesma.

## 2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesta capítulo são apresentados os procedimentos metodológicos adotados nesta pesquisa tendo em vista que “a importância metodológica de um trabalho pode ser justificada pela necessidade de embasamento científico adequado, geralmente caracterizado pela busca da melhor abordagem de pesquisa a ser utilizada para endereçar as questões da pesquisa” (MIGUEL, 2007) de forma a subsidiar o desenvolvimento da teoria (geração de conhecimento) seja na extensão, refinamento ou em caráter propositivo.

Para responder às perguntas propostas na seção 1.2 utilizou-se os seguintes procedimentos metodológicos: Revisão da literatura; Estudo de caso; Programação matemática.

### 2.1. DESCRIÇÃO DO MÉTODO

Em espectro amplo, Gil (2002) classifica as pesquisas quanto aos objetivos (exploratórias, descritivas e explicativas) e quanto aos procedimentos técnicos utilizados na sua confecção, podendo ser estas pesquisas: bibliográficas, documentais, experimentais, *ex-post facto*, estudo de corte, levantamento, estudo de campo, estudo de caso, pesquisa-ação e pesquisa participante.

De acordo com Chase et al. (2004), gestão de operações é definida como o projeto, operação e melhoria dos sistemas que criam e fornecem produtos e serviços de uma empresa. Devido a sua abrangência, Petersen et al. (2011) aponta diversas sobreposições e dificuldade de delimitação com outros campos de pesquisa como engenharia industrial e gerenciamento de sistemas de informação. De acordo com Miguel (2007), os procedimentos metodológicos comumente utilizadas em engenharia industrial (de produção), são:

- Desenvolvimento teórico-conceitual
- Estudo de caso
- Levantamentos tipo survey
- Modelagem e Simulação
- Pesquisa-ação
- Pesquisa bibliográfica/revisão da literatura

- Pesquisas experimentais

Seguindo a classificação proposta por Yin (2001), a presente pesquisa consiste em um estudo de caso único de caráter exploratório que tem como objetivo aprofundar a compreensão acerca de um problema não suficientemente delimitado para sugerir hipóteses e questões ou desenvolver a teoria (MIGUEL, 2007).

## 2.2. REVISÃO DE LITERATURA

De acordo com Marconi e Lakatos (1991), método pode ser definido como um conjunto de “atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permitem alcançar o objetivo” e, segundo Ferrari (1982), é o instrumento básico que ordena “a forma de proceder do cientista ao longo de um percurso”

Assim, com o objetivo “localizar, analisar, sintetizar e interpretar a investigação prévia” primeiramente lançou-se mão de uma revisão da literatura que tem como propósito:

- Delimitar o problema de investigação;
- Procurar novas linhas de investigação;
- Evitar abordagens infrutíferas;
- Ganhar perspectivas metodológicas;
- Identificar recomendações para investigações futuras (BENTO, 2012).

Em consonância com estes propósitos e no âmbito de gestão de operações, Thomé et al. (2016) afirmam que a revisão da literatura fornece evidências suficientes para concluir de forma razoavelmente clara a fronteira do conhecimento sobre uma questão de pesquisa específica de forma replicável e transparente.

## 2.3. SELEÇÃO DAS PALAVRAS-CHAVE

A revisão da literatura acerca do tema consistiu na prospecção de artigos nas bases *ISI Web of Science* e *Scopus*. A primeira foi escolhida por ser referência em gestão de operações e a segunda porque inclui, dentre outras, a base *Med-line* da *PubMed* que é

a principal referência na área da saúde. O acesso a ambas as bases foi feito em 16/04/2017 e utilizou-se as palavras-chave hospital, planejamento, controle, *scheduling*, sala de cirurgia, centro cirúrgico, modelo, *math* e otimização em inglês com os blocos e sintaxes apresentados a seguir:

SCOPUS - ( TITLE-ABS-KEY ( hospital\* ) AND TITLE-ABS-KEY ( ( planning OR control OR schedul\* ) ) AND TITLE-ABS-KEY ( ( operation room OR operation theater ) ) AND TITLE-ABS-KEY ( model\* ) AND TITLE-ABS-KEY(( math\* OR optim\* ) ) ;

ISI Web of Science - Tópico: (Hospital\*) AND Tópico: ((Planning OR Control OR Schedul\*)) AND Tópico: ((Operation Room OR Operation Theater)) AND Tópico: (math\* OR optim\*) AND Tópico: (Model\*).

Na primeira busca foram encontrados 24 resultados e na segunda 41. Posteriormente, foram excluídos 9 resultados comuns em ambas as bases totalizando 56 pesquisas diferentes que foram avaliadas de por título e abstract. Estas etapas são apresentadas na figura 01.

No intuito de posicionar a presente pesquisa em relação às encontradas na revisão da literatura utilizou-se como critério de inclusão pesquisas que:

1. Estivessem disponíveis para *download*;
2. Propusessem modelo de otimização relacionado ao planejamento e programação de salas de cirurgia;
3. Fossem aplicados a casos reais.

A partir destes filtros foram selecionadas 18 pesquisas que, juntamente a esta, serão enquadradas na seção 3.4 de acordo com os *Frameworks* propostos por Guerriero & Guido (2011). Os artigos selecionados são apresentados na tabela 01.



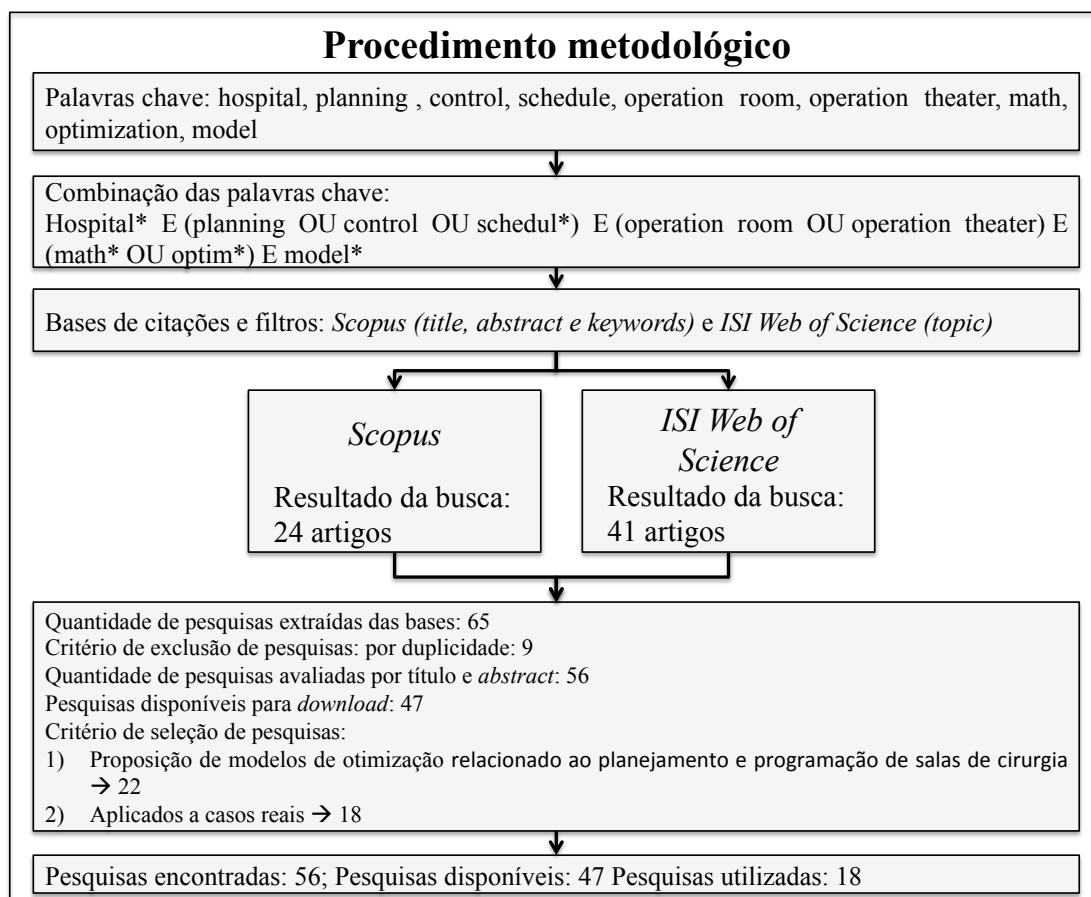


Figura 1 - Etapas da revisão da literatura.

| <b>Autores</b>                                                        | <b>Título</b>                                                                                                                          | <b>Ano</b> | <b>Periódico/Journal</b>                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Freeman N.K., Melouk S.H., Mittenthal J.                              | A scenario-based approach for operating theater scheduling under uncertainty                                                           | 2016       | Manufacturing and Service Operations Management                                         |
| Yahia, Z; Eltawil, AB; Harraz, NA                                     | The operating room case-mix problem under uncertainty and nurses capacity constraints                                                  | 2016       | HEALTH CARE MANAGEMENT SCIENCE                                                          |
| Villarreal, MC; Keskinocak, P                                         | Staff planning for operating rooms with different surgical services lines                                                              | 2016       | HEALTH CARE MANAGEMENT SCIENCE                                                          |
| Xiang, W; Yin, J; Lim, GN                                             | A short-term operating room surgery scheduling problem integrating multiple nurses roster constraints                                  | 2015       | ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MEDICINE                                                     |
| Saadouli, H; Jerbi, B; Dammak, A; Masmoudi, L; Bouaziz, A             | A stochastic optimization and simulation approach for scheduling operating rooms and recovery beds in an orthopedic surgery department | 2015       | COMPUTERS & INDUSTRIAL ENGINEERING                                                      |
| Sufahani S., Ismail Z.                                                | A real scheduling problem for hospital operation room                                                                                  | 2014       | Applied Mathematical Sciences                                                           |
| Pulido, R; Aguirre, AM; Ortega-Mier, M; Garcia-Sanchez, A; Mendez, CA | Managing daily surgery schedules in a teaching hospital: a mixed-integer optimization approach                                         | 2014       | BMC HEALTH SERVICES RESEARCH                                                            |
| Saadouli, H; Masmoudi, M; Jerbi, B; Dammak, A                         | An optimization and Simulation approach for Operating Room scheduling under stochastic durations                                       | 2014       | 2014 INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONTROL, DECISION AND INFORMATION TECHNOLOGIES (CODIT) |
| Paul J.A., Jotshi A.                                                  | Efficient operating room redesign through process improvement and optimal management of scheduled and emergent surgeries               | 2013       | International Journal of Mathematics in Operational Research                            |
| Devi S.P., Rao K.S., Sangeetha S.S.                                   | Prediction of surgery times and scheduling of operation theaters in ophthalmology department                                           | 2012       | Journal of Medical Systems                                                              |
| He, B; Dexter, F; Macario, A; Zenios, S                               | The Timing of Staffing Decisions in Hospital Operating Rooms: Incorporating Workload Heterogeneity into the Newsvendor Problem         | 2012       | M&SOM-MANUFACTURING & SERVICE OPERATIONS MANAGEMENT                                     |
| Day, R; Garfinkel, R; Thompson, S                                     | Integrated Block Sharing: A Win-Win Strategy for Hospitals and Surgeons                                                                | 2012       | M&SOM-MANUFACTURING & SERVICE OPERATIONS MANAGEMENT                                     |
| Jeang, A; Chiang, AJ                                                  | Economic and Quality Scheduling for Effective Utilization of Operating Rooms                                                           | 2012       | JOURNAL OF MEDICAL SYSTEMS                                                              |
| Wang, Y; Tang, JF; Qu, G                                              | A Genetic Algorithm for Solving Patient- Priority-Based Elective Surgery Scheduling Problem                                            | 2010       | LIFE SYSTEM MODELING AND INTELLIGENT COMPUTING, PT II                                   |

| <b>Autores</b>                                                                           | <b>Título</b>                                                                                         | <b>Ano</b> | <b>Periódico/Journal</b>                                                                                                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Belien, J;<br>Demeulemeester, E;<br>Cardoen, B                                           | A decision support system for cyclic master surgery scheduling with multiple objectives               | 2009       | JOURNAL OF SCHEDULING                                                                                                         |
| van Oostrum, JM; Van Houdenhoven, M;<br>Hurink, JL; Hans, EW;<br>Wullink, G; Kazemier, G | A master surgical scheduling approach for cyclic scheduling in operating room departments             | 2008       | OR SPECTRUM                                                                                                                   |
| Persson, M; Persson, JA                                                                  | OPTIMIZATION MODELLING OF HOSPITAL OPERATING ROOM PLANNING: ANALYZING STRATEGIES AND PROBLEM SETTINGS | 2007       | OPERATIONAL RESEARCH FOR HEALTH POLICY: MAKING BETTER DECISIONS                                                               |
| Jiménez M., Rivasb J.A., Zubiac M.                                                       | A goal programming model to help production planning in a Basque Health Service Hospital              | 2004       | Decision and Simulation in Engineering and Management Science - International Conference on Modelling and Simulation, ICMS'04 |

Tabela 1 – Artigos selecionados na revisão da literatura.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é apresentado o arcabouço teórico acerca do problema de planejamento e programação de cirurgias, o contexto no qual ele se insere, os conceitos associados ao tema de acordo com a literatura e de que forma é possível enquadrar a presente pesquisa em relação às pesquisas selecionadas apresentadas no final do capítulo anterior.

#### 3.1. GESTÃO DE OPERAÇÕES EM SAÚDE

Em várias regiões do mundo, a indústria da saúde está enfrentando um dilema devido aos baixos padrões de qualidade dos serviços ofertados e, ao mesmo tempo, forte pressão para aumentar eficiência e produtividade e reduzir custos (VAHATALO & KALLIO, 2015).

Ao passo que, no Brasil, por princípio constitucional, a população tem direito à saúde, sendo esse um dever do Estado, sem a previsão de limites (BRASIL, 1988); pesquisas como as de Zucchi et al. (2000) apontam para a necessidade de contenção de gastos na saúde que, do ponto de vista macro econômico, se mostra insolúvel no longo prazo. Reforçando esta perspectiva, um estudo recente feito pela Organização para a

Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OCDE (2015) evidencia que este problema é comum a vários países.

A partir da base de dados da OCDE<sup>1</sup> (2017) é possível observar a magnitude e a evolução histórica dos gastos totais, públicos e privados com saúde (em dólar per capta) no mundo (figuras 02, 03 e 04). Em termos percentuais, a evolução dos gastos com a saúde e a relação ao produto interno bruto também é preocupante.

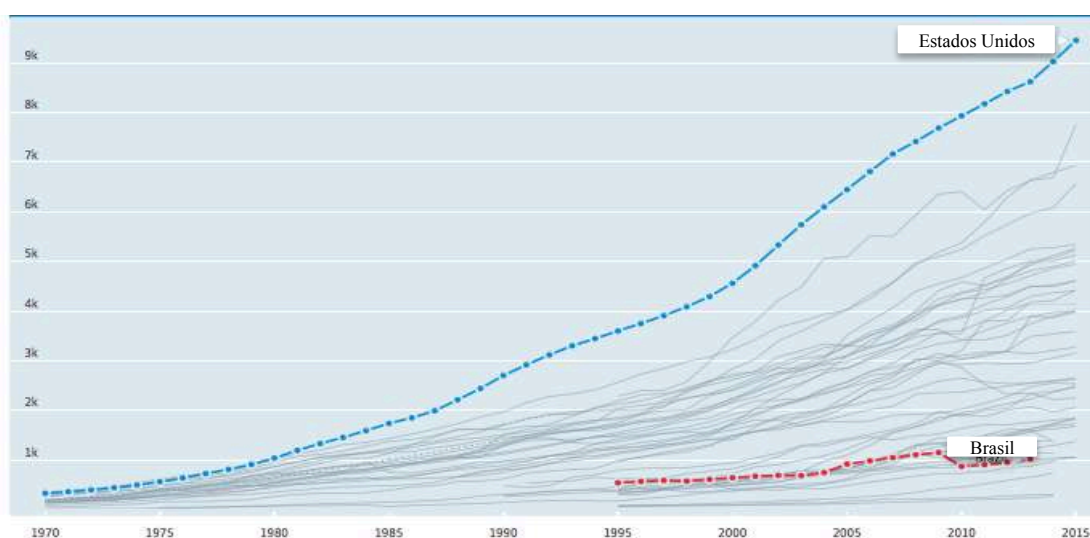


Figura 2 - Gastos totais (dólar per capta) com a saúde. Fonte: OCDE, 2017.

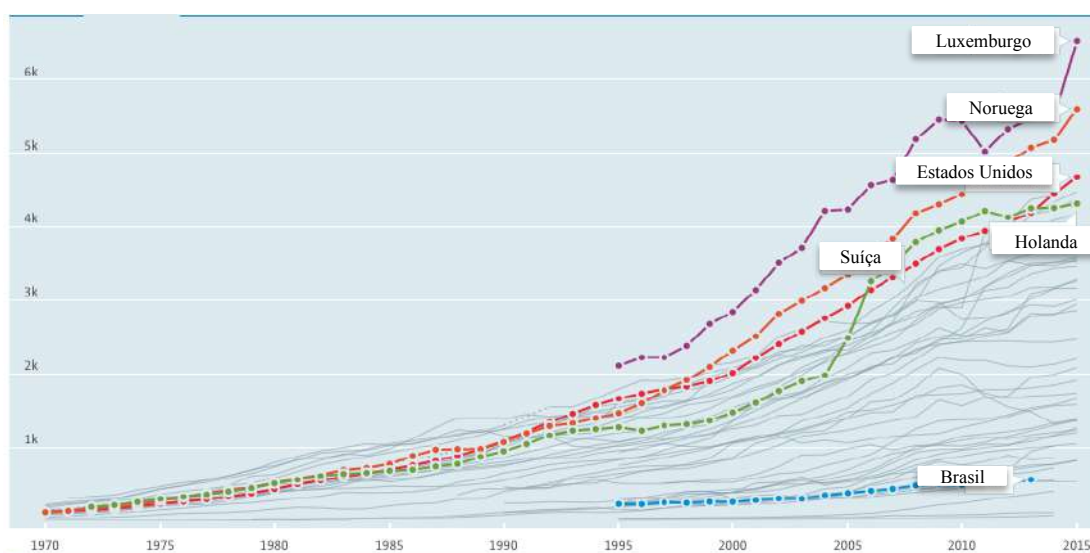


Figura 3 - Gastos públicos (dólar per capta) com saúde. Fonte: OCDE, 2017.

<sup>1</sup> Disponível em: <https://data.oecd.org/healthres/health-spending.htm>

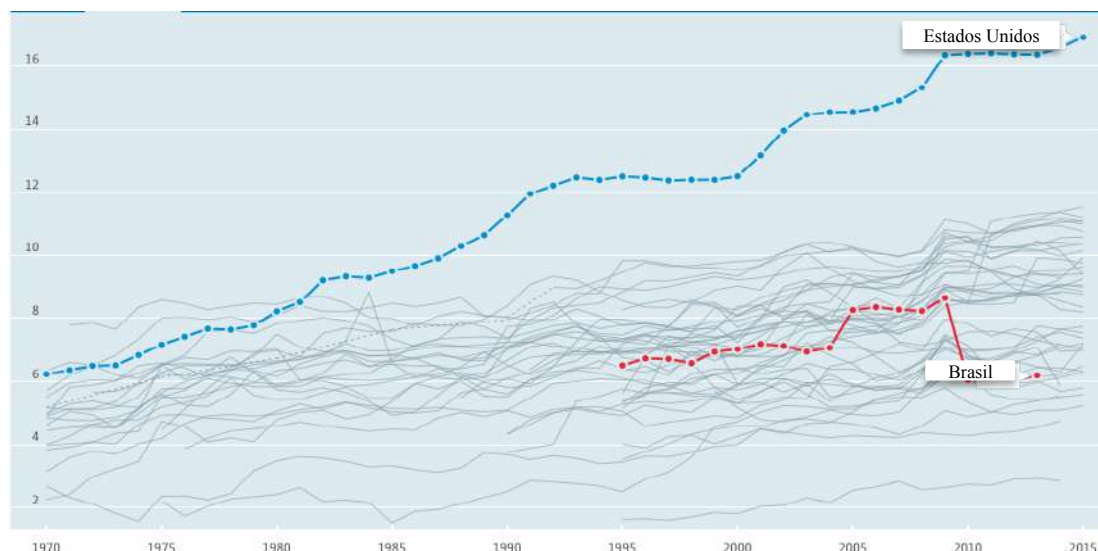


Figura 4 - Relação entre gastos com saúde e produto interno bruto. Fonte: OCDE, 2017.

O alto volume de pacientes, os fluxos de pacientes no sistema de saúde, a disponibilidade de insumos, equipamentos e procedimentos, o conhecimento médico cada vez mais especializado, o rápido desenvolvimento da tecnologia empurrando a fronteira do conhecimento e criando pressões para a atualização constante da engenharia clínica, a rápida elevação dos custos assistenciais, todos esses fatores tornam o projeto e a gestão das organizações de saúde um desafio sem paralelo em outros setores de atividade econômica. O resultado são filas crescentes, assistência fragmentada, usuários e profissionais insatisfeitos, pressão da sociedade por melhorias, e grande espaço para aumento da produtividade (HOPP & LOVEJOY, 2012; SPIEGEL et al., 2016).

Pedroso & Malik (2011) destacam algumas questões relevantes no que diz respeito à gestão em saúde. A primeira delas é a amplitude do escopo da saúde, que vai desde a perspectiva positiva (bem-estar) até a perspectiva patológica, de forma que o impacto na vida reforça sua relevância social. Destacam também sua importância econômica, uma vez que as ineficiências na gestão de saúde significam consideráveis desperdícios de recursos financeiros. Além disso, por possuir uma cadeia de valor fragmentada, pode acarretar decisões locais que não permitem aumentar o valor gerado. Dessa forma, colocam como desafio maximizar os resultados e minimizar os custos, alinhando o projeto e gestão de operações de saúde à complexidade de seus produtos e serviços, estágio de maturidade do conhecimento médico, entre outras variáveis.

Problemas de otimização em saúde têm recebido atenção considerável por mais de três décadas. Mais recentemente, no entanto, com as taxas de natalidade decrescentes

em quase todos os países desenvolvidos e aumentando a longevidade média global, as questões de otimização na área de saúde tornaram-se notoriamente importantes e atraem grande interesse social e de instituições de pesquisa. Ao longo dos anos, a atenção tem gradualmente expandido a partir da alocação de recursos e planejamento estratégico para incluir questões operacionais, como agendamento de recursos e planejamento de tratamento (RAIS & VIANA, 2011).

### 3.2. DESAFIOS DA GESTÃO HOSPITALAR

É mundialmente aceito que os serviços de saúde enfrentam um cenário desafiador: atender uma demanda que aumenta a cada ano e conter gastos. Em que pese esta discussão já ter sido sinalizada na década de 80, com um histórico de 3 décadas, por Labourdete (1988); a mesma segue sendo reforçada por Zucchi et al. (2000) ao avaliar que a progressão das despesas de saúde em um grande número de países da O.C.D.E. (Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômico), em vinte anos, a participação da saúde no Produto Interno Bruto, dobrou ou quase dobrou.

Os gastos mundiais com saúde totalizaram cerca de US\$ 1700 bilhões em 1990, que representam 8% dos recursos globais. Os países economicamente estáveis gastam cerca de US\$ 1500 bilhões em saúde enquanto os países em desenvolvimento gastam US\$ 170 bilhões. Esses números são fundamentais para nos mostrar o quão importante é entender o impacto das políticas governamentais na saúde das pessoas. (ZUCCHI et al., 2000)

Em nível nacional, a necessidade de contenção de gastos na saúde pública, de acordo com Da Rocha & Lemos (2011), constitui um objetivo urgente das políticas de saúde que, devido ao grande montante de recursos alocados e sua centralidade no sistema de prestação de serviços de saúde, tem como foco descobrir formas de conter os gastos hospitalares.

Tal diretriz entretanto, recai sobre um ambiente que, de acordo com Senhoras (2007), tem que desempenhar funções cada vez mais complexas e possui diversas especificidades

Recuperar, manter e incrementar os padrões de saúde de seres humanos. Essas funções demandam um conjunto altamente divergente e complexo de

atividades, tais como a realização de atendimentos, exames, diagnósticos e tratamentos, o planejamento e execução de internações, intervenções cirúrgicas e outros procedimentos (SENHORAS, 2007).

Segundo Almeida (1983), um hospital pode ser definido como uma instituição destinada ao diagnóstico e tratamento de pacientes internos e externos, que planejada e organizada conforme orientação técnica e em consonância a padrões e normas vigentes tem, dentre outras finalidades, a função de “promover a saúde, a prática, a pesquisa e o ensino da medicina e da cirurgia, da enfermagem e da dietética, e das demais especialidades afins” (ALMEIDA, 1983).

Desdobrando as finalidades de um hospital em relação aos serviços que são prestados, Castro (2002) identifica os seguintes segmentos:

- atendimento médico ambulatorial, caracterizado pelas consultas médicas;
- SADT – Serviços Auxiliares de Diagnóstico e Tratamento, caracterizado pelos exames complementares;
- Procedimentos cirúrgicos ou obstétricos, caracterizados pelas intervenções em ambientes hospitalares específicos;
- Internações hospitalares (CASTRO, 2002).

Suportando estes segmentos, de acordo com o mesmo autor, um hospital deve ter como princípios:

- Assistência médica continuada: concentrar uma grande quantidade de recursos de diagnóstico e tratamento, para no menor tempo possível, reintegrar rapidamente o paciente no seu meio;
- Assistência médica integrada: constitui um lugar intermediário dentro de uma rede de serviços de complexidade crescente;
- assistência médica integral: quando o estabelecimento pertence a uma rede que garante a disponibilidade de todos os recursos para resolver cada caso;
- área de programação: o estabelecimento tem uma área de influência a qual fornece seus serviços e sobre cuja população os resultados de suas ações devem ser avaliados;
- provedor de programas de saúde: o estabelecimento também executa programas preventivos e de promoção da saúde, promovidos pela autoridade

sanitária (CASTRO, 2002).

Pode-se sintetizar que a função essencial do hospital é a recuperação da saúde e que ela envolve, além de sucessivas etapas, uma equipe multidisciplinar de profissionais para executar as intervenções necessárias ao tratamento do paciente. (FERNANDES, 2002; DA ROCHA & LEMOS, 2011)

Em relação aos serviços, objetivos e princípios supracitados, esta síntese enfoca dois dos três pilares que permeiam a discussão do *trade-off* complexidade e custo: o fluxo do paciente (entendendo que a recuperação da saúde tem como início a admissão do paciente e como fim sua alta) que tem, por trás, a necessidade de coordenação tanto da equipe multidisciplinar quanto de recursos físicos (infraestrutura, equipamentos e materiais). Logo, o melhor aproveitamento dos recursos que promovam a melhoria contínua da qualidade na prestação do serviço como propõem Pavia (2001) e Malágon-Lodoño (2000) respectivamente devem ter como cerne o gerenciamento da tríade: fluxo dos pacientes, recursos humanos e recursos físicos (LIVTAK et al., 2009).

O reconhecimento de que a melhoria de qualidade está associada ao gerenciamento destes três fatores na partida é contrastada com uma visão histórica e amplamente difundida de que uma organização hospitalar trata-se de um “sistema social aberto, onde estão atuando outros subsistemas técnicos representados pelas especializações dos conhecimentos e habilidades de profissionais como médicos, enfermeiros, psicólogos, nutricionistas entre outros” (SENHORAS, 2007). De acordo com o mesmo autor, esta caracterização funcional tem como consequência um *gap* no que tange a gestão do fluxo do paciente, pois “nenhuma pessoa ou grupo é responsável completamente pelo sucesso ou pela qualidade da experiência completa do paciente, uma vez que os profissionais são responsáveis por parte do processo, não havendo uma prestação de contas de todo o ciclo” (SENHORAS, 2007).

Esta visão funcional de uma organização hospitalar, se de um lado representa duplicidade de esforços (aumento de custo) para manter a “independência” dos setores com pouco impacto na qualidade percebida pelo paciente (maior tempo de espera) como é o caso de serviços ambulatoriais (consultas com hora marcada, exames, entre outros), por outro, onde são necessários intervenções de emergência,



podem culminar em agravamento de quadros clínicos e mortes evitáveis.

### 3.3. CENTRO CIRÚRGICO

De acordo com Barbagallo et al. (2015), estima-se que os orçamentos hospitalares respondem por quase metade de todos os gastos na maioria dos sistemas de saúde e, dentro deles, a razão mais importante para a admissão hospitalar são procedimentos ou intervenções cirúrgicas. Estes procedimentos são realizados, em geral, em um centro cirúrgico que pode ser definido como um lugar preparado de acordo com os requisitos que o tornam apto à prática de cirurgia, e visa atender a resolução de intercorrências cirúrgicas, através da ação de uma equipe integrada (POSSARI, 2004). De acordo com Agnetis et al. (2014), o centro cirúrgico é constituído por várias salas e é o recurso mais crítico de um hospital, porque tem um forte impacto na qualidade dos serviços de saúde e representa uma das principais fontes de custos.

Embora a estrutura necessária à prestação de serviços cirúrgicos (salas de cirurgia, equipamentos, entre outros) seja considerada a mais cara e consuma grande parte (cerca de 40%) de seu orçamento anual do hospital (BARBAGALLO ET AL., 2015), de acordo com Denton et al. (2007), o seu impacto na receita segue a mesma proporção o que tem levado muitas instituições de saúde a pesquisar ferramentas para otimizar o fluxo de pacientes e desenvolver métodos avançados para o planejamento e programação de salas de operação com intuito de melhor geri-lo (BARBAGALLO et al., 2015; DENTON et al., 2007).

Por este motivo, o planejamento e gestão do centro cirúrgico bem como a programação de salas de cirurgia vem sendo amplamente discutido na literatura e, de acordo com Sambeek et al. (2010), podem estar relacionados a três problemas diferentes: capacidade, modelagem (desenho) de processos e *scheduling*.

Com escopo bem mais amplo, a revisão proposta por este autor teve como objetivo encontrar modelos de tomada de decisão para o projeto e controle de processos relativos aos fluxos de pacientes, considerando vários tipos de problemas e para descobrir como esses modelos são úteis para a tomada de decisões gerenciais. Além de concluir que poucos modelos são validados e implementados, ou seja, não atendem

ao objetivo de auxiliar a tomada de decisão, sua pesquisa tem como contribuição um *Framework* no qual é possível enquadrar esta dissertação que se aprofunda no problema de *scheduling* relacionado ao centro cirúrgico (*operation room/operation theater*) com objetivo de propor um modelo a ser aplicado a um caso real e passível de generalização.

Nas seções seguintes, são apresentadas outras pesquisas relacionadas exclusivamente ao planejamento e programação de salas de cirurgia e, definido o objeto, que decisões são tomadas em que alçada e com quais horizontes de planejamento.

### 3.3.1. PLANEJAMENTO E PROGRAMAÇÃO DE SALAS DE CIRURGIA

A partir da revisão da literatura, Przasnyski (1986) propõe que a busca pela maior eficiência na utilização dos recursos do centro cirúrgico remete a cinco pilares centrais: utilização de sala de cirurgia, contenção de custos, planejamento e organização, programação de recursos específicos (por exemplo, pessoal de enfermagem, anestesia, banco de sangue) e programação de operações cirúrgicas em salas cirúrgicas.

De acordo Magerlein & Martin (1978), o termo "programação", na literatura cirúrgica, refere-se a dois processos distintos: *advanced scheduling* e *allocation scheduling*. No primeiro processo, é feito um agendamento antecipado em que os pacientes tem suas cirurgias programadas para ocorrer em alguma data futura, ao passo que, no segundo processo, referido como programação de alocação, consiste em definir a sequência de casos cirúrgicos naquele dia.

Os mesmos autores apontam que o *advanced scheduling* pode ser feito de duas formas. No método mais comum, a única restrição de recursos considerada é o tempo total de operação disponível das salas de cirurgia. Por outro lado, métodos mais complexos de *advanced scheduling* podem considerar várias restrições de recursos como: leitos, equipe de enfermagem, cirurgiões e equipamentos.

Os conceitos apresentados estão em diferentes alçadas decisórias e na seção seguinte são apresentados conceitos mais recentes relacionados ao planejamento e

programação de salas de cirurgia e, por nível de tomada de decisão, quais são os problemas envolvidos e em qual horizonte de tempo.

### 3.3.1.1. PLANEJAMENTO E PROGRAMAÇÃO DE SALAS DE CIRURGIA POR NÍVEIS HIERÁRQUICOS

Diversas pesquisas recentes classificam as decisões de planejamento e programação de salas de cirurgia nos níveis estratégico, tático e operacional (*off-line* ou *online*) e atribuem relacionando estes a algum horizontes temporal (GUERRIERO & GUIDO, 2011; MAY et al., 2011; STEPANIAK et al., 2012; HULSHOF et al., 2012; HANS & VANBERKEL, 2012; ABDELRA SOL et al., 2014). Entretanto, observa-se divergências quanto à alçada de decisão e horizonte de planejamento entre diferentes autores e, nesta pesquisa, assume-se os horizontes de planejamento propostos por Hulshof et al. (2012) com as decisões afetas relacionadas a *scheduling*, por nível, propostas por Guerriero & Guido (2011), estendida por Hans & Vanberkel (2012) e sintetizadas por Liang et al. (2015), a saber:

- Nível Estratégico

Esta fase diz respeito à determinação do número e tipo de salas de operações, das horas de funcionamento das salas de cirurgia e da capacidade global do centro cirúrgico desdobrado entre várias especialidades cirúrgicas, cirurgias ou grupos individuais (*case mix*).

- Nível Tático

Esta etapa considera o desenvolvimento de um *Master Surgical Schedule* (MSS). Este cronograma define a atribuição específica de blocos das salas de cirurgia para as especialidades, ou seja, quanto tempo elas terão (Figura 5). O MSS deve reagir às alterações da quantidade total de tempo e especialidades disponíveis.

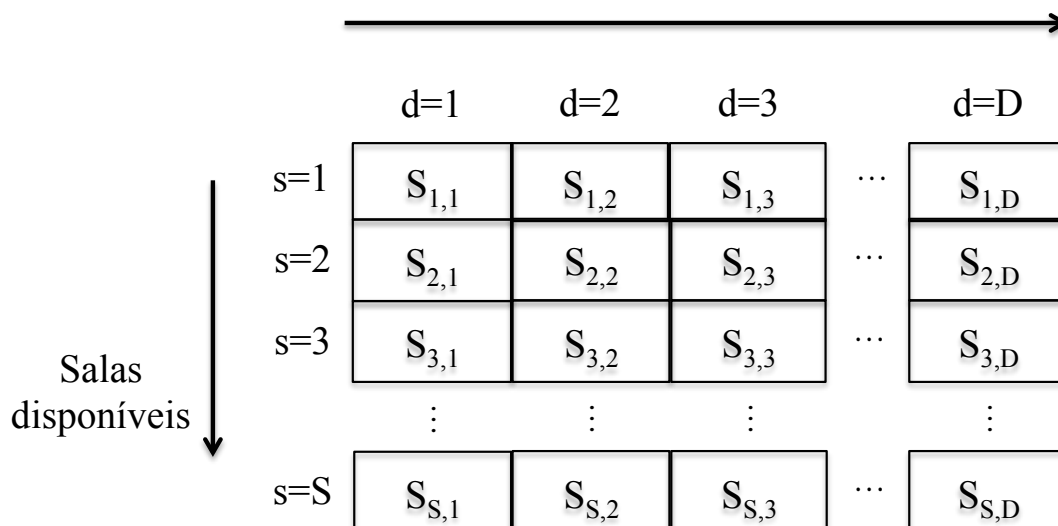


Figura 5 – Exemplo do *Master Surgery Schedule* (MSS). Fonte: adaptado de Hans & Vanberkel (2012).

- Nível Operacional *Off-line*

Nesta fase, a programação de pacientes eletivos é realizada diariamente, atribuindo, ao longo do horizonte de planejamento (pode variar de 1 semana a 1 mês), um conjunto de cirurgias a uma equipe para ser realizado em uma sala de cirurgia designada pelo MSS no período de tempo por ele especificado. A atribuição de um paciente a uma clínica em um período de tempo definido no horizonte de dia é conhecido como *Surgical Case Assignment Problem* (SCAP), ou seja, quando cada cirurgia será realizada (Figura 6).

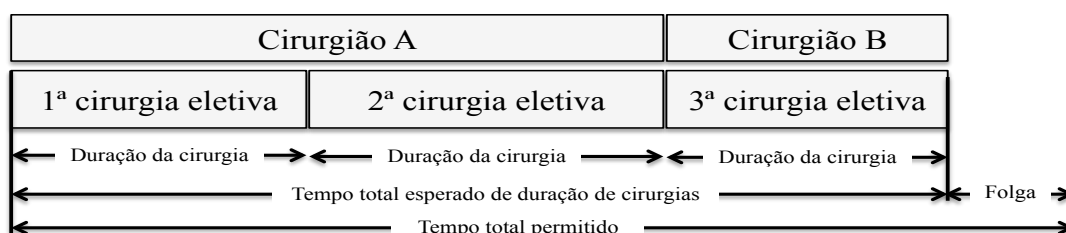


Figura 6 – horizonte de tempo de salas de cirurgia. Fonte: adaptado de Hans & Vanberkel (2012).

- Nível Operacional *Online*

Nesta fase, é definida a ordem dos procedimentos cirúrgicos em tempo real e alocação de recursos para cada bloco de tempo em cada sala de cirurgia (Figura 7). Neste horizonte, o objetivo é lidar de forma eficiente com eventos não esperados variabilidade seja na duração da cirurgia ou chegada de casos urgentes que podem resultar em *idle time* (tempo ocioso), *waiting time* (tempo de espera) e *overtime* (tempo excedido).

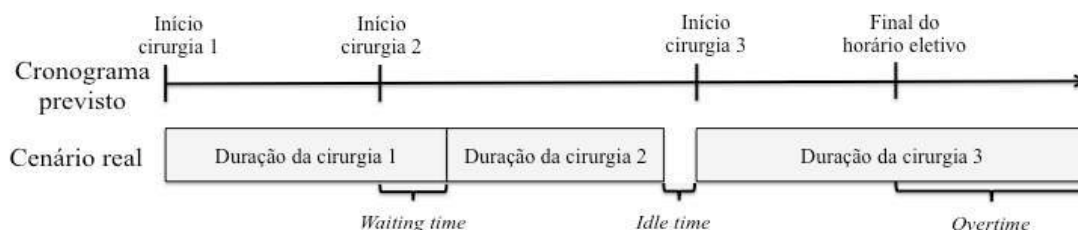


Figura 7 – Impacto de eventos não esperados na programação de cirurgias. Fonte: Batun & Beguen (2013).

Em relação às características pertinentes a cada nível de decisão, Abdelrasol et al. (2014) propõem as três categorias apresentadas na figura 8 voltadas especificamente para *scheduling*. Os problemas pertinentes a cada categoria podem ser tratados por diferentes abordagens quantitativas que são discutidas na seção seguinte.

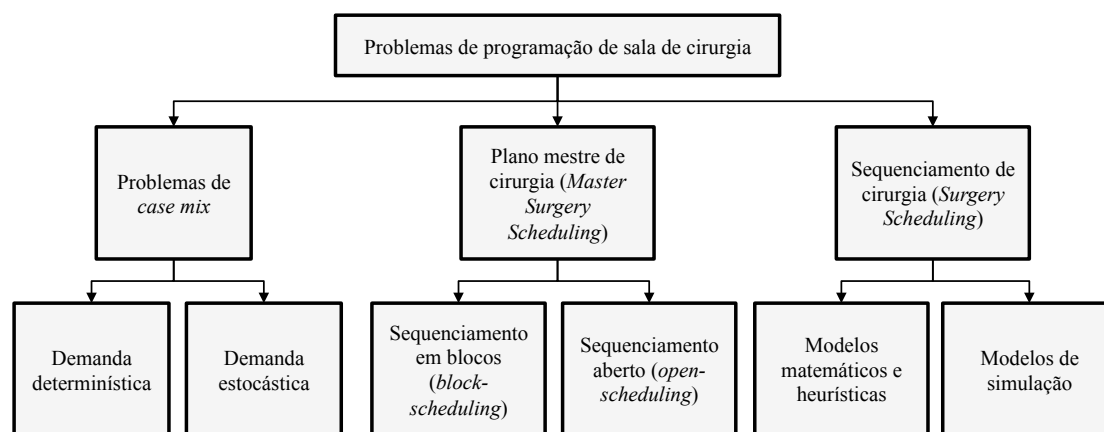


Figura 8 – Problemas de scheduling relacionados a salas de cirurgia. Fonte: adaptado de Abdelrasol et al. (2014).

Nesta categorização, a presente dissertação pode ser enquadrada em *Surgery Scheduling* e lança mão de modelos matemáticos (analíticos) no intuito de responder às perguntas de pesquisa descritas na seção 1.2.

### 3.4. PESQUISA OPERACIONAL APLICADA AO PLANEJAMENTO E PROGRAMAÇÃO DE SALAS DE CIRURGIA

Na seção anterior foram citadas algumas pesquisas recentes que dividiam o problema de planejamento e programação de cirurgias em diferentes objetivos, características e horizontes de tempo. Estes problemas podem ser “recortados”, simplificados e abordados por diferentes métodos qualitativos e/ou quantitativos. Diversas revisões de literatura recentemente propuseram-se a categorizar pesquisas anteriores com

abordagem quantitativa em relação as técnicas e simplificações adotadas (CARDOEN et al., 2010; VELÁSQUEZ-RESTREPO et al., 2011; GUERRIERO & GUIDO, 2011; HULSHOF et al., 2012; DEMEULEMEESTER et al., 2013; ABDELRASOL et al., 2014)

Para enquadrar esta pesquisa e as demais apresentadas na seção 2.3 utilizou-se os *Frameworks* (figuras 9 e 10) propostos por Guerriero & Guido (2011) que, a partir da revisão de pesquisas relacionadas ao planejamento e programação de cirurgias, propuseram seis categorias para classificar modelos de nível tático (MSS) e nove categorias para classificar modelos de nível operacional *off-line* (SCAP), a saber:

- Nível tático: objetivos do modelo, restrições consideradas, tipo de dado utilizado, horizonte de planejamento, formulação do modelo de otimização e tipo de solução
- Nível operacional *off-line*: tipos de *scheduling*, tipo de programação, tipo de solução, critérios de performance, recursos envolvidos, restrições de tempo (datas de admissão e alta), horizonte de planejamento, tipos de incertezas consideradas e tipo de experimento (natureza dos dados utilizados).

O enquadramento desta pesquisa é apresentado na tabelas 2 e 3. Como as pesquisas encontradas no nível *off-line* não tratavam de restrições de tempo na forma como Guerriero & Guido (2011) apresentam, optou-se por retirar esta coluna.

| Objetivos do modelo                      | Restrições consideradas       | Tipo de dado utilizado | Horizonte de planejamento | Formulação do modelo de otimização   | Tipo de solução |
|------------------------------------------|-------------------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------------------|-----------------|
| Minimizar alocação de recursos           | Equipamento                   | real                   | semanal                   | Programação linear (LP)              | Exata           |
|                                          | Disponibilidade do cirurgião  |                        |                           |                                      |                 |
| Minimizar custos                         | Disponibilidade de enfermagem | Gerado aleatoriamente  | quinzenal                 | Programação inteira mista (MIP)      | Heurística      |
| Maximizar utilização de sala de cirurgia | Capacidade do CTI             |                        | mensal                    | Programação inteira quadrática (IQP) |                 |
| Nivelar ocupação de leitos               |                               |                        | anual                     | Programação multicritério            |                 |
| Atingir meta de produção                 |                               |                        |                           |                                      |                 |

Figura 9 – *Framework* proposto por Guerriero & Guido (2011) para enquadrar modelos de nível tático (MSS). Fonte: adaptado de Guerriero & Guido (2011).

| Tipo de <i>scheduling</i> | Tipos de programação            | Tipo de solução     | Critérios de performance |                                |                                       |                                                           | Recursos envolvidos         | Restrições de tempo | Horizonte de planejamento | Tipos de incerteza considerada      | Tipos de experimentos                                    |
|---------------------------|---------------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------|---------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Aberto                    | Binária inteira                 | Métodos Exatos      | Número de leitos         | Eficiência da sala de cirurgia | Piora do quadro clínico dos pacientes | Tempo total de conclusão                                  | Leitos                      | Data de admissão    | 1 dia                     | Demanda por Cirurgias de emergência | Geração de números aleatórios                            |
| Por blocos                | Inteira                         | Métodos Heurísticos | Custo                    | Utilização da sala de cirurgia | Tempo de espera do paciente           | Tempo ocioso não esperado                                 | Equipamentos e instrumental | Data limite         | 1 a 2 semanas             | Tempo total da sala de operação     | Dados reais                                              |
|                           | Inteira Mista                   |                     | Retorno financeiro       | Prioridade do Paciente         | Produtividade do centro cirúrgico     | Número de enfermeiras na recuperação pós anestésica (RPA) | Staff                       |                     | Mais de 2 semanas         | Tempo de recuperação pós cirúrgico  | Dados aleatórios que representam a realidade do hospital |
|                           | Otimização multicritério        |                     | Performance CTI          | Overtime                       | Risco de suspensão de cirurgia        |                                                           |                             |                     |                           | Duração da cirurgia                 |                                                          |
|                           | Otimização não linear           |                     | Duração da cirurgia      | Idade do paciente              | Cancelamento de cirurgias             | Número de leitos na recuperação pós anestésica (RPA)      |                             |                     |                           | Tempo de preparação (setup)         |                                                          |
|                           | Otimização estocástica dinâmica |                     | Tempo de internação      | Undertime                      | Risco de falha do staff               |                                                           |                             |                     |                           | Carga de trabalho                   |                                                          |
|                           | Simulação                       |                     | Makespan                 | Receita                        | Satisfação do staff                   |                                                           |                             |                     |                           |                                     |                                                          |
| Otimização estocástica    |                                 |                     |                          |                                |                                       |                                                           |                             |                     |                           |                                     |                                                          |

Figura 10 – *Framework* proposto por Guerriero & Guido (2011) para enquadrar modelos de nível operacional *off-line*. Fonte: adaptado de Guerriero & Guido (2011).

| <b>Autores</b>                                                                     | <b>Ano</b> | <b>Objetivo do modelo</b>                                                           | <b>Restrições consideradas</b>                   | <b>Tipo de dado utilizado</b> | <b>Horizonte de planejamento</b> | <b>Formulação do modelo de otimização<sup>2</sup></b> | <b>Tipo de solução<sup>3</sup></b> |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Persson, M; Persson, JA                                                            | 2007       | Minimiza custos relacionados a não operação do paciente considerando sua prioridade | sala de cirurgia, recursos humanos e leitos      | Dados reais                   | Semanal                          | MILP                                                  | Exata                              |
| van Oostrum, JM; Van Houdenhoven, M; Hurink, JL; Hans, EW; Wullink, G; Kazemier, G | 2008       | Minimiza alocação de salas e picos de ocupação de leitos                            | sala de cirurgia, recursos humanos e leitos      | Dados reais                   | Semanal                          | MILP                                                  | Heurística                         |
| Belien, J; Demeulemeester, E; Cardoen, B                                           | 2009       | Minimiza os picos de ocupação de leitos                                             | sala de cirurgia, recursos humanos e leitos      | Dados reais                   | Semanal                          | MILP e IQP                                            | Exata e heurística                 |
| Wang, Y; Tang, JF; Qu, G                                                           | 2010       | Maximiza cirurgias prioritárias controlando a carga de trabalho do <i>staff</i>     | sala de cirurgia e recursos humanos              | Dados reais                   | Semanal e diário <i>off-line</i> | MILP                                                  | Heurística                         |
| He, B; Dexter, F; Macario, A; Zenios, S                                            | 2012       | Minimiza custos relacionados a recursos humanos (enfermagem)                        | sala de cirurgia e recursos humanos (enfermagem) | Dados reais                   | Semanal                          | MILP                                                  | Exata                              |
| Day, R; Garfinkel, R; Thompson, S                                                  | 2012       | Maximiza receita e satisfação do <i>Staff</i>                                       | sala de cirurgia e recursos humanos              | Dados reais                   | quinzenal                        | MILP                                                  | Heurística                         |
| Jeang, A; Chiang, AJ                                                               | 2012       | Minimiza <i>idle e overtime</i>                                                     | sala de cirurgia e recursos humanos              | Dados reais                   | quinzenal                        | MINLP                                                 | Exata                              |
| Paul J.A., Jotshi A.                                                               | 2013       | Minimiza alocação de salas                                                          | sala de cirurgia e recursos humanos              | Dados reais                   | Semanal e diário <i>off-line</i> | MILP                                                  | Exata                              |

<sup>2</sup> Os modelos de otimização podem ser formulados de diferentes maneiras e, nas pesquisas destacam-se: programação inteira (IP), programação linear inteira mista (MILP), programação inteira quadrática e programação não linear inteira mista (MINLP).

<sup>3</sup> A depender da complexidade da modelagem e/ou porte do modelo, a obtenção da solução ótima considerando todas as combinações do espaço de solução possível (solução exata) pode incorrer em tempos de solução muito longos. Para não se deparar com altos tempos de solução diversos autores propõem métodos de resolução mais rápidos (heurísticas) e que desconsideram parte do espaço de soluções viáveis para obter uma resposta (não necessariamente a resposta ótima).



| <b>Autores</b>                                            | <b>Ano</b>  | <b>Objetivo do modelo</b>                   | <b>Restrições consideradas</b>                                            | <b>Tipo de dado utilizado</b> | <b>Horizonte de planejamento</b> | <b>Formulação do modelo de otimização</b> | <b>Tipo de solução</b> |
|-----------------------------------------------------------|-------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------|------------------------|
| Sufahani S., Ismail Z.                                    | 2014        | Nivelar ocupação entre salas de cirurgia    | sala de cirurgia e recursos humanos                                       | Dados reais                   | Semanal                          | MILP                                      | Exata                  |
| Saadouli, H; Masmoudi, M; Jerbi, B; Dammak, A             | 2014        | Maximizar quantidade de cirurgias           | salas de cirurgia                                                         | Dados reais                   | Semanal                          | MILP                                      | Exata                  |
| Saadouli, H; Jerbi, B; Dammak, A; Masmoudi, L; Bouaziz, A | 2015        | Maximizar quantidade de cirurgias           | sala de cirurgia, RPA                                                     | Dados reais                   | Semanal                          | MILP                                      | Exata                  |
| Villarreal, MC; Keskinocak, P                             | 2016        | Minimizar alocação de recursos (enfermagem) | orçamento                                                                 | Dados reais                   | anual (48 semanas)               | MILP                                      | Heurística             |
| <b>Esta pesquisa</b>                                      | <b>2017</b> | <b>Minimiza alocação de recursos</b>        | <b>Sala de cirurgia, recursos humanos, equipamentos, bolsas de sangue</b> | <b>Dados reais</b>            | <b>Anual</b>                     | <b>MILP</b>                               | <b>Exata</b>           |

Tabela 2 – Categorização dos modelos táticos (MSS) encontrados na revisão da literatura. Fonte: próprio autor.

| <b>Autores</b>                                                        | <b>Ano</b> | <b>Tipo de scheduling</b> | <b>Tipo de programação</b> | <b>Tipo de solução</b> | <b>Critério de performance</b>                                                  | <b>Recursos envolvidos</b>          | <b>Horizonte de planejamento</b> | <b>Tipos de incerteza consideradas</b>              | <b>Tipo de experimento</b>                                             |
|-----------------------------------------------------------------------|------------|---------------------------|----------------------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Wang, Y; Tang, JF; Qu, G                                              | 2010       | <i>open schedule</i>      | MILP                       | heurística             | Maximiza cirurgias prioritárias controlando a carga de trabalho do <i>staff</i> | sala de cirurgia e recursos humanos | Semanal e diário <i>off-line</i> | -                                                   | Dados reais                                                            |
| Devi S.P., Rao K.S., Sangeetha S.S.                                   | 2012       | <i>Block schedule</i>     | IP                         | exata                  | Minimizar <i>makespan</i>                                                       | sala de cirurgia, RPA               | diário <i>off-line</i>           | Duração de cirurgia                                 | Dados reais                                                            |
| Jeang, A; Chiang, AJ                                                  | 2012       | <i>Block schedule</i>     | MINLP                      | exata                  | Minimiza <i>idle</i> e <i>overtime</i>                                          | sala de cirurgia e recursos humanos | diário <i>off-line</i>           | -                                                   | Dados reais                                                            |
| Paul J.A., Jotshi A.                                                  | 2013       | <i>Block schedule</i>     | MILP                       | exata                  | Satisfação do <i>staff</i> (preferência do médico)                              | sala de cirurgia e recursos humanos | Semanal e diário <i>off-line</i> | -                                                   | Dados reais                                                            |
| Pulido, R; Aguirre, AM; Ortega-Mier, M; Garcia-Sanchez, A; Mendez, CA | 2014       | <i>open schedule</i>      | MILP                       | exata                  | Minimiza custos de <i>overtime</i> , <i>idle time</i> e <i>waiting time</i>     | sala de cirurgia e recursos humanos | diário <i>off-line</i>           | -                                                   | Dados reais                                                            |
| Saadouli, H; Masmoudi, M; Jerbi, B; Dammak, A                         | 2014       | <i>Block schedule</i>     | MILP                       | exata                  | Nivelar ocupação entre salas de cirurgia                                        | sala de cirurgia                    | diário <i>off-line</i>           | Duração de cirurgia                                 | Dados reais e dados aleatórios que representam a realidade do hospital |
| Xiang, W; Yin, J; Lim, GN                                             | 2015       | <i>open schedule</i>      | MINLP                      | heurística             | Minimizar <i>makespan</i>                                                       | sala de cirurgia e recursos humanos | diário <i>off-line</i>           | Duração de cirurgia                                 | Dados reais                                                            |
| Saadouli, H; Jerbi, B; Dammak, A; Masmoudi, L; Bouaziz, A             | 2015       | <i>Block schedule</i>     | MILP                       | exata                  | Minimizar <i>makespan</i>                                                       | sala de cirurgia, RPA               | diário <i>off-line</i>           | Duração de cirurgia e duração de recuperação na RPA | Dados reais e dados aleatórios que representam a realidade do hospital |

| <b>Autores</b>                                 | <b>Ano</b>  | <b>Tipo de scheduling</b>    | <b>Tipo de programação</b> | <b>Tipo de solução</b> | <b>Critério de performance</b>                                   | <b>Recursos envolvidos</b>                       | <b>Horizonte de planejamento</b> | <b>Tipos de incerteza consideradas</b>                  | <b>Tipo de experimento</b>                                             |
|------------------------------------------------|-------------|------------------------------|----------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Freeman N.K.,<br>Melouk S.H.,<br>Mittenthal J. | 2016        | <i>Block schedule</i>        | MILP                       | heurística             | maximizar receita (lucro)                                        | sala de cirurgia e recursos humanos              | diário <i>off-line</i>           | Duração de cirurgia e chegada de paciente de emergência | Dados reais e dados aleatórios que representam a realidade do hospital |
| Villarreal, MC;<br>Keskinocak, P               | 2016        | <i>modified schedule</i>     | MILP                       | heurística             | minimizar <i>Overtime</i>                                        | sala de cirurgia e recursos humanos (enfermagem) | Semanal                          | Turnover (tempo de preparação de sala)                  | Dados reais e dados aleatórios que representam a realidade do hospital |
| <b>Esta pesquisa</b>                           | <b>2017</b> | <b><i>Block schedule</i></b> | <b>MILP</b>                | <b>exata</b>           | <b>Equilibra carga de trabalho entre médicos de mesma classe</b> | <b>Sala de cirurgia, recursos humanos</b>        | <b>diário <i>off-line</i></b>    | <b>-</b>                                                | <b>Dados reais</b>                                                     |

Tabela 3 – Categorização dos modelos operacionais off-line (SCAP) encontrados na revisão da literatura. Fonte: próprio autor.

As pesquisas de Jiménez et al. (2004) e Yahia et al. (2016) foram excluídas desta classificação porque tratavam do problema de *case mix* (nível estratégico) que não é escopo desta pesquisa (o *case mix* não é uma variável de decisão, mas sim um dado assumido *a priori* levando em conta os quantitativos mínimos definidos pelo cirurgião chefe do serviço de cirurgia vascular e legislação vigente).

### 3.5. SÍNTESE DA REVISÃO DA LITERATURA

Conforme apresentado no início deste capítulo, pesquisas envolvendo planejamento e programação de cirurgias podem envolver três problemas distintos: capacidade, desenho (modelagem) de processos e *scheduling*. O problema de *scheduling* é dividido em *open schedule*, *block schedule* ou *modified schedule*. Para as três formas observa-se grande variedade de objetivos que variam de acordo com o horizonte de planejamento e nível de incerteza. A depender do problema que se pretende resolver são necessárias diferentes simplificações (premissas) e empregados diferentes métodos de resolução (técnicas). Por fim, do ponto de vista acadêmico (contribuição para a literatura), os modelos podem ser aplicados a casos reais, aplicados a instâncias propostas na literatura ou propositivos (aplicados a pequenas instâncias geradas aleatoriamente). As características que compõem os diferentes modelos decisórios estudados são sintetizados abaixo.

- Tipo de problema
  - Capacidade
  - Desenho (modelagem) de processos
  - Scheduling
- Unidades hospitalares (local de aplicação)
  - Enfermarias
  - CTI's (cuidado intensivo)
  - SADT
    - Laboratório
    - Exames de imagem
  - Ambulatório
  - Departamento de emergência
  - Centro cirúrgico
- Premissas (simplificações)
  - Demanda conhecida (determinística)
  - Tempos de procedimento conhecidos (determinístico)
  - Tempos de preparação de sala de cirurgia conhecido (determinístico)
    - Fixo (constante)

- Matriz de setup
  - Recursos a jusante do centro cirúrgico são desconsiderados (possuem capacidade infinita)

Direcionando especificamente a *scheduling* e centro cirúrgico, os problemas e tipos de decisões podem ser divididos em 4 classes:

- Horizonte de planejamento
  - Isolado
    - Estratégico
    - Tático
    - Operacional Offline
    - Operacional Online
  - Integrado
  - Horizonte versus tipo de decisão (problema)

| Nível decisório      | Horizonte de planejamento       | Decisão                                                 | Escopo                                                                                                                                              |
|----------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Estratégico          | 1 ano                           | <i>Case mix</i>                                         | Decidir que procedimentos serão ofertados pelo hospital.                                                                                            |
| Tático               | Mensal, bimestral ou trimestral | <i>Master Surgical Schedule Problem (MSSP)</i>          | Definir qual cirurgião (ou especialidade) ficará em que salas em quais dias e em que horário em algum horizonte de tempo (semana, quinzena ou mês). |
| Operacional Off-line | Semanal ou diário               | <i>Surgical Case Assignment Problem (SCAP)</i>          | Alocar cada cirurgião a cada cirurgia em algum dos dias definidos pelo bloco e definir ordem de execução.                                           |
| Operacional Online   | Diário (tempo real)             | Sequenciamento e reprogramação em função de imprevistos | Redefinir a melhor ordem de execução em face as variabilidades do sistema (incertezas).                                                             |

Tabela 4 – Síntese dos tipos de decisão por nível e horizonte de planejamento. Fonte: próprio autor.

Afetando os níveis tático e operacional, a distribuição das salas de cirurgia pode seguir diferentes lógicas de programação.

- Tipos de programação
  - *open scheduling*
  - *block scheduling*
    - por dia
    - por turno
    - por conjunto de procedimentos

- *modified scheduling*

De acordo com Malik et al. (2015) e Bouguerra et al. (2015), *open scheduling* é uma estratégia que permite que procedimentos cirúrgicos possam ser alocados em qualquer sala disponível (não existe uma sala específica para um cirurgião ou para uma especialidade). No *block scheduling*, uma sala é reservada por um período de tempo para um cirurgião ou para uma especialidade em um horizonte pré-estabelecido (semana ou mês em geral). Nesta estratégia, os pacientes associados ao cirurgião ou à especialidade só podem ser alocados dentro deste *slot* de tempo e diversos critérios de performance podem definir a quantidade de tempo a ser reservado, por exemplo, a utilização histórica. O *modified scheduling* pode ser entendido como uma flexibilização do *block scheduling* onde uma ou mais salas têm *slots* abertos. Esta flexibilidade tem como objetivo de um lado evitar ociosidade (*undertime*) caso todas as cirurgias de uma especialidade tenham acabado antes dos horários previstos e, do outro, evitar a utilização da sala além do tempo previsto (*overtime*). Os conceitos tratados até aqui são sintetizados na figura 11.

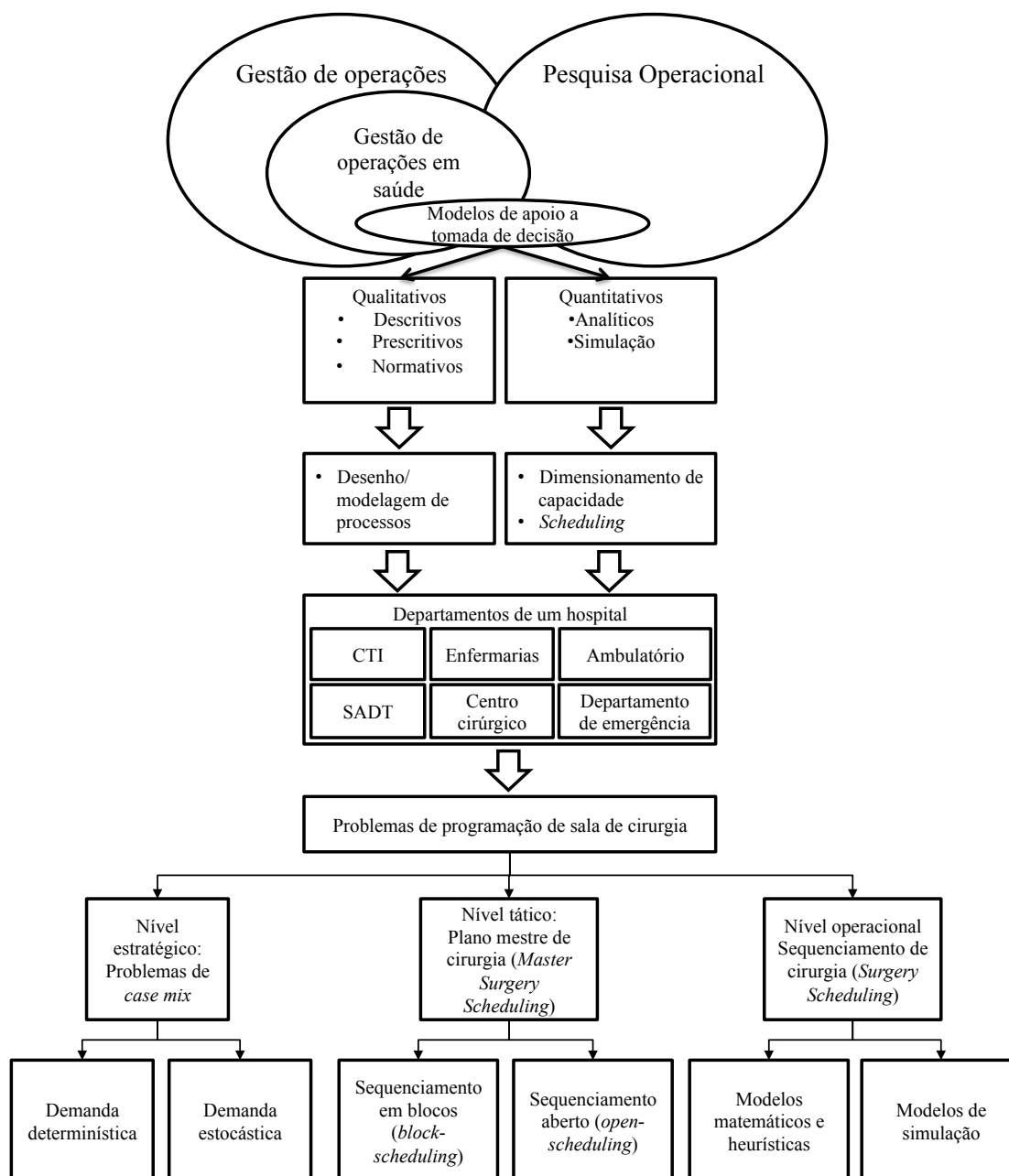


Figura 11– Síntese da revisão da literatura.

## • Objetivos

As pesquisas de Cardoen et al. (2010), Guerriero & Guido (2011), Demeulemeester et al. (2013) e Dios et al. (2015) apontam os objetivos comumente utilizados para o problema de *scheduling* que podem ser únicos ou combinados.

### ○ Objetivo único

- Minimizar risco de cancelamento de cirurgias
- Minimizar tempo de fila (tempo entre consulta e realização da cirurgia) de cada paciente

- Minimizar *makespan* (tempo total de processamento de todas as cirurgias em algum horizonte de tempo).
- Minimizar *overtime* (tempo de sala de cirurgia excedido)
- Minimizar profissionais (staffs, residentes e/ou técnicos de enfermagem) para atender uma demanda em um intervalo de tempo determinado
- Maximizar procedimentos com maior margem de lucro ou maior receita
- Maximizar alocação de pacientes prioritários
- Maximizar utilização da sala de cirurgia
- Objetivos múltiplos (modelos multicritério)
- Incerteza
  - Demanda (urgência e/ou emergência)
  - Duração do procedimento
  - Duração do período de recuperação pós anestésica
  - Tempo de preparação de salas de cirurgia (setup)
  - Tempo de internação
- Técnicas
  - Simulação
    - Monte Carlo
    - Eventos Discretos
  - Otimização
    - Métodos exatos
      - Programação linear
      - Programação por metas
      - Programação por restrições
      - Programação inteira
      - Programação linear inteira mista
      - Programação não linear inteira mista
    - Soluções aproximadas: Heurísticas e Meta-heurísticas
      - Algoritmos construtivos
      - Algoritmos genéticos
      - Algoritmos busca tabu



- Contribuição do modelo para a literatura
  - Aplicado a dados reais
  - Aplicado a casos reais (aplicado a dados reais e implementados)
  - Aplicado a instâncias da literatura
  - Propositivos (aplicados a pequenas instâncias geradas aleatoriamente)

#### **4. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA**

Neste capítulo são descritas as características do hospital (número de serviços cirúrgicos, leitos, porte, papel na rede, nível de complexidade e regime de propriedade), particularidades do serviço de cirurgia vascular (tipos e portes de cirurgia, que profissionais estão habilitados a realizá-la e que recursos devem ser disponibilizados para a execução da mesma). De acordo com Barbagallo et al. (2015), a gestão do centro cirúrgico deve seguir os 3 passos descritos na figura 12, entretanto, no hospital estudado, o fluxo do paciente cirúrgico é regido por diversos protocolos clínicos internacionais que tem como objetivo padronizar a conduta a ser adotada para cada tipo de paciente e especialidade levando em conta questões médicas que não são escopo da discussão desta pesquisa. Assim, o escopo desta pesquisa limita-se à parametrização de recursos necessários para a realização de cirurgias da clínica vascular e a proposição de modelos de otimização para estimar a relação entre recursos necessários para atendimento dos instrumentos normativos que regem os serviços cirúrgicos com aplicação ao caso da cirurgia vascular.

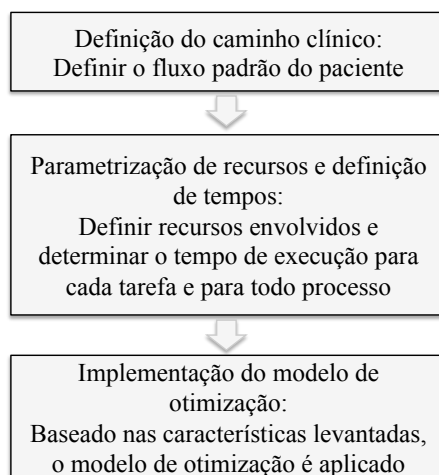


Figura 12 – Etapas de planejamento otimizado para gestão de centro cirúrgico. Fonte: adaptado de Barbagallo et al. (2015).

#### 4.1. CARACTERIZAÇÃO DO HOSPITAL

De acordo com Neto et al. (2008), o termo hospital “se refere a um conjunto muito heterogêneo de estabelecimentos de saúde, unidades de diferentes portes, que podem oferecer uma variada gama de serviços e atividades e desempenhar funções muito distintas no âmbito da rede de atendimento à saúde”

De Negri Filho et al. (2012) classifica os hospitais que integram o SUS em termos de porte, complexidade, perfil assistencial, papel na rede e regime de propriedade conforme Figura 13. No caso, o HUPE é um hospital geral, de alta complexidade, de grande porte com finalidade de ensino e pesquisa que conta com 20 especialidades cirúrgicas (Tabela 5) e possui capacidade operacional ativa de 350 leitos.

| Porte                                  | Perfil assistencial                | Nível de complexidade | Papel na rede                   | Regime de propriedade                |
|----------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| Pequeno – de 1 a 50 leitos             | Hospital de clínicas básicas       | Atenção básica        | Hospital local                  | Hospital público                     |
| Médio – de 51 a 150 leitos             | Hospital geral                     | Média complexidade    | Hospital regional               | Hospital privado com fins lucrativos |
| Grande – de 151 a 500 leitos           | Hospital especializado             | Alta complexidade     | Hospital de referência regional | Hospital privado sem fins lucrativos |
| Capacidade extra – acima de 500 leitos | Hospital de urgência               |                       | Hospital de referência regional |                                      |
|                                        | Hospital universitário e de ensino |                       |                                 |                                      |

Figura 13 – classificação dos hospitais que integram o SUS. Fonte: adaptado de De Negri Filho et al. (2012).

| Serviços cirúrgicos (clínicas) |                    |                   |                       |
|--------------------------------|--------------------|-------------------|-----------------------|
| Cirurgia Geral                 | Otorrino           | Cirurgia Torácica | Ortopedia             |
| Ginecologia                    | Proctologia        | Bucomaxilofacial  | Anomalia craniofacial |
| Urologia                       | Cirurgia Vascular  | Cabeça e pescoço  | Dermatologia          |
| Neurocirurgia                  | Cirurgia Cardíaca  | Cirurgia da mão   | Gastroenterologia     |
| Cirurgia Plástica              | Cirurgia Pediatria | Oftalmologia      | Arritmia              |

Tabela 5 – Serviços cirúrgicos ofertados pelo HUPE.

#### 4.2. CASE MIX DE PACIENTES DEFINIDOS PELO REGULATÓRIO

Hospitais de ensino estão sujeitos a diversas regras de diversos órgãos reguladores (Ministério da Saúde, Ministério da Educação e diversos conselhos profissionais). Em termos de programa de residência destacam-se a Comissão Nacional de Residência Médica (CNRM)<sup>4</sup> e a Comissão Nacional de Residência Multiprofissional em Saúde (CNRMS). Ambas definem os requisitos mínimos para obtenção de habilitação de cirurgião em cada especialidade. Atualmente estes requisitos mínimos são definidos pela Resolução CNRM número 02 /2006, de 17 de maio de 2006 (BRASIL, 2006). Para a especialidade de cirurgia vascular, esta resolução exige que cada residente cumpra, pelo menos, 150 (cento e cinquenta) cirurgias, sendo o mínimo de 50 (cinquenta) cirurgias arteriais por ano de programa, pelo menos 30 % de cirurgias de pequeno porte, 40% de médio porte e 30% de grande porte no horizonte de um ano. Diferentemente de outras especialidades, este quantitativo é igual tanto para o cirurgião geral no primeiro ano de residência na cirurgia vascular (R1) quanto para estudantes do segundo ano (R2). O hospital em questão também oferece uma subespecialidade da cirurgia vascular denominada cirurgia endovascular que pode ser feito pelo cirurgião vascular e tem duração de um ano. Geralmente, após a conclusão do segundo ano, os novos cirurgiões vasculares participam deste programa de residência (R3). As cirurgias são divididas em pequeno, médio, grande porte (Tabela 6).

<sup>4</sup> A legislação específica que rege os programas de residência no Brasil está disponível em: [http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=12703:legislacao-especifica-e-atas&catid=247:residencia-medica](http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=12703:legislacao-especifica-e-atas&catid=247:residencia-medica)

| Resolução CNRM número 02 /2006                        | Quantidade mínima de procedimentos a serem realizadas por profissional para obter habilitação em prestar serviço de cirurgia vascular                                     |                                |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Classificação de procedimentos para Cirurgia Vascular | Procedimentos                                                                                                                                                             | Quantidade de cirurgias no ano |
| Pequeno porte                                         | Acessos vasculares, fístulas arterio-venosas, radiologia vascular, pequenas amputações e debridamentos.                                                                   | 45                             |
| Médio porte                                           | Embolectomias; enxertos fêmuro-poplíteos, fêmuro-femorais, axilo-femorais, ilíaco-femorais, distais; cirurgias venosas; amputações, simpatectomias e radiologia vascular. | 60                             |
| Grande porte                                          | Cirurgia das artérias carótidas, aneurismas, enxertos aorto-ilíacos e femorais, re-operações arteriais                                                                    | 45                             |
| Total                                                 | -                                                                                                                                                                         | 150                            |

Tabela 6 – Quantidade mínima de procedimentos definida pela legislação vigente. Fonte: adaptado de Ministério da Educação (2006).

Em que pese a validade desta divisão enquanto instrumento normativo, o cirurgião chefe da cirurgia vascular categoriza cirurgias desta especialidade em sete grupos agregados: cirurgia de varizes e veia, cirurgia de aorta, cirurgia de fistula, cirurgia femoral, cirurgia de carótida, cirurgia de amputação e procedimento endovasculares.

Assim, fez-se necessário a construção da Tabela 7 junto ao cirurgião chefe da cirurgia vascular para fazer a interseção entre estes grupos de cirurgia e os procedimentos descritos pelo instrumento normativo em termos de “porte” e grupo. Na penúltima coluna são assinaladas com X as cirurgias arteriais. Ressaltasse, portanto, a importância do desenvolvimento de modelos de apoio à decisão em colaboração com os futuros usuários do mesmo. Na última linha, são estabelecidos os quantitativos de cirurgia por porte seguindo a mesma proporção estabelecida pela resolução CNRM número 02/2006.

| Porte da cirurgia | Grandes categorias - Classificação por blocos da Cirurgia Vascular | Procedimentos                                                                                                          | Cirurgias arteriais | Quantidade de cirurgias no ano Resolução CNRM número 02 /2006 |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------------------------------------------------|
| Pequeno           | Varizes e Veia                                                     | cirurgias venosas                                                                                                      |                     | -                                                             |
|                   | Aorta                                                              | -                                                                                                                      | X                   |                                                               |
|                   | Fistula                                                            | Acesso Vascular                                                                                                        | X                   |                                                               |
|                   | Femoral                                                            | -                                                                                                                      | X                   |                                                               |
|                   | Carótida                                                           | -                                                                                                                      | X                   |                                                               |
|                   | Amputação                                                          | Amputação                                                                                                              |                     |                                                               |
|                   | Endovascular                                                       | radiologia vascular                                                                                                    |                     |                                                               |
| Subtotal          | Pequeno porte                                                      | -                                                                                                                      | -                   | 15                                                            |
| Médio             | Varizes e Veia                                                     | cirurgias venosas                                                                                                      |                     | -                                                             |
|                   | Aorta                                                              | -                                                                                                                      | X                   |                                                               |
|                   | Fistula                                                            | Acesso Vascular                                                                                                        | X                   |                                                               |
|                   | Femoral                                                            | Enxertos fêmuro-poplíteos, fêmuro-femorais, axilo-femorais, ilíaco-femorais, distais;                                  | X                   |                                                               |
|                   | Carótida                                                           | axilo-femorais                                                                                                         | X                   |                                                               |
|                   | Amputação                                                          | Amputação                                                                                                              |                     |                                                               |
|                   | Endovascular                                                       | radiologia vascular                                                                                                    |                     |                                                               |
| Subtotal          | Médio porte                                                        |                                                                                                                        |                     | 20                                                            |
| Grande            | Varizes e Veia                                                     | cirurgias venosas                                                                                                      |                     | -                                                             |
|                   | Aorta                                                              | axilo-femorais, Cirurgia das artérias carótidas, aneurismas, enxertos aorto-ilíacos e femurais, re-operações arteriais |                     |                                                               |
|                   | Fistula                                                            | Acesso Vascular                                                                                                        | X                   |                                                               |
|                   | Femoral                                                            | Axilo-femorais, Cirurgia das artérias carótidas, aneurismas, enxertos aorto-ilíacos e femurais, re-operações arteriais | X                   |                                                               |
|                   | Carótida                                                           | axilo-femorais, Cirurgia das artérias carótidas, aneurismas, enxertos aorto-ilíacos e femurais, re-operações arteriais | X                   |                                                               |
|                   | Amputação                                                          | Amputação                                                                                                              |                     |                                                               |
|                   | Endovascular                                                       | radiologia vascular                                                                                                    |                     |                                                               |
| Subtotal          | Grande porte                                                       | -                                                                                                                      | -                   | 15                                                            |
| Total             | -                                                                  | -                                                                                                                      | -                   | 50                                                            |

Tabela 7 – Classificação dos procedimentos quanto a categoria e porte. Fonte: Chefe do serviço de cirurgia vascular.

Na seção seguinte são apresentadas particularidades do hospital estudado que foram consideradas para responder as perguntas de pesquisa feitas na seção 1.2.

### 4.3. PARAMETRIZAÇÃO DE RECURSOS

A partir da Tabela 7 é possível perceber que um residente pode alcançar o número mínimo de cirurgias por porte estabelecidos pela Resolução CNRM executando diversos procedimentos em mais de uma categoria ao longo do ano. Entretanto, os professores (preceptores) da cirurgia vascular (*staff*) entendem que um residente menos experiente deveria executar e se aperfeiçoar em procedimentos mais simples ao passo que os mais experientes deveriam se aperfeiçoar em procedimentos de mais alta complexidade. Esta relação é apresentada na Tabela 8 onde o X indica quais recursos são necessários para a realização de cada tipo de cirurgia. Nas colunas Médico R1, Médico R2 e Médico R3 o X indica que este médico residente está habilitado a realizar aquele tipo de procedimento. Entretanto, apenas um médico residente é alocado para fazer cada cirurgia. Assim como na Tabela 7, a Tabela 8 foi construída junto ao cirurgião chefe da cirurgia vascular que também indicou que, apesar de estar habilitado a fazer amputações de qualquer porte, o médico residente R3, na prática, não faz cirurgias de amputação.

| Parametrização de recursos |                                                                    | CME - Instrumental cirúrgico |                                 |                            |                  |              |                  |                    | Equipamentos do C.C                                  | Banco de sangue                                               | Tempo (em minutos)       |                              |                     | Recursos Humanos                                        |           |           |           | Quantidade mínima de cirurgias |           |           |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------|----------------------------|------------------|--------------|------------------|--------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------------|---------------------|---------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|--------------------------------|-----------|-----------|
| Porte da cirurgia          | Grandes categorias - Classificação por blocos da Cirurgia Vascular | Fleboextrator                | Cirurgia avançada extracraniana | Cirurgia avançada de aorta | Caixa de Varizes | Caixa de FAV | Caixa de Femoral | Caixa de Amputação | É necessário Arco C para realização do procedimento? | É necessário bolsa de sangue para realização do procedimento? | Tempo de preparação sala | Tempo de preparação paciente | Duração da cirurgia | Necessita de anestesia para realização do procedimento? | Médico R1 | Médico R2 | Médico R3 | Médico R1                      | Médico R2 | Médico R3 |
| Pequeno                    | Varizes e Veia                                                     | X                            |                                 |                            | X                |              |                  |                    |                                                      |                                                               | 20                       | 0                            | 45                  | -                                                       | X         | X         | X         | 10                             | 0         | 0         |
|                            | Aorta                                                              |                              |                                 | X                          |                  |              |                  |                    | X                                                    | X                                                             | 20                       | 0                            | -                   | -                                                       |           | X         | X         | 0                              | 0         | 0         |
|                            | Fistula                                                            |                              |                                 |                            |                  | X            |                  |                    |                                                      |                                                               | 20                       | 0                            | 60                  | -                                                       | X         | X         | X         | 20                             | 0         | 0         |
|                            | Femoral                                                            | X                            |                                 |                            |                  |              | X                |                    | X                                                    | X                                                             | 20                       | 0                            | 150                 | X                                                       | X         | X         | X         | 5                              | 15        | 0         |
|                            | Carótida                                                           |                              | X                               |                            |                  |              |                  |                    | X                                                    |                                                               | 20                       | 0                            | -                   | -                                                       |           | X         | X         | 0                              | 0         | 0         |
|                            | Amputação                                                          |                              |                                 |                            |                  |              |                  | X                  |                                                      |                                                               | 20                       | 0                            | 40                  | -                                                       | X         | X         | X         | 10                             | 0         | 0         |
|                            | Endovascular (Laparoscopia)                                        |                              |                                 |                            |                  | X            | X                |                    | X                                                    |                                                               | 20                       | 0                            | 60                  | -                                                       |           | X         | X         | 0                              | 10        | 15        |
| Médio                      | Varizes e Veia                                                     | X                            |                                 |                            | X                |              |                  |                    |                                                      |                                                               | 20                       | 20                           | 75                  | X                                                       | X         | X         | X         | 10                             | 5         | 0         |
|                            | Aorta                                                              |                              |                                 | X                          |                  |              |                  |                    | X                                                    | X                                                             | 20                       | 20                           | -                   | -                                                       |           | X         | X         | 0                              | 0         | 0         |
|                            | Fistula                                                            |                              |                                 |                            |                  | X            |                  |                    |                                                      |                                                               | 20                       | 20                           | 110                 | X                                                       | X         | X         | X         | 20                             | 0         | 0         |
|                            | Femoral                                                            | X                            |                                 |                            |                  |              | X                |                    | X                                                    | X                                                             | 20                       | 20                           | 210                 | X                                                       | X         | X         | X         | 10                             | 15        | 15        |
|                            | Carótida                                                           |                              | X                               |                            |                  |              |                  |                    | X                                                    |                                                               | 20                       | 20                           | 135                 | X                                                       |           | X         | X         | 0                              | 15        | 10        |
|                            | Amputação                                                          |                              |                                 |                            |                  |              |                  | X                  |                                                      |                                                               | 20                       | 20                           | 50                  | X                                                       | X         | X         | X         | 10                             | 0         | 0         |
|                            | Endovascular (Laparoscopia)                                        |                              |                                 |                            |                  | X            | X                |                    | X                                                    |                                                               | 20                       | 20                           | 135                 | -                                                       |           | X         | X         | 0                              | 10        | 20        |
| Grande                     | Varizes e Veia                                                     | X                            |                                 |                            | X                |              |                  |                    |                                                      |                                                               | 20                       | 90                           | 105                 | X                                                       | X         | X         | X         | 5                              | 5         | 0         |
|                            | Aorta                                                              |                              |                                 | X                          |                  |              |                  |                    | X                                                    | X                                                             | 20                       | 90                           | 240                 | X                                                       |           | X         | X         | 0                              | 15        | 5         |
|                            | Fistula                                                            |                              |                                 |                            |                  | X            |                  |                    |                                                      |                                                               | 20                       | 90                           | 110                 | X                                                       | X         | X         | X         | 5                              | 5         | 0         |
|                            | Femoral                                                            | X                            |                                 |                            |                  |              | X                |                    | X                                                    | X                                                             | 20                       | 90                           | 210                 | X                                                       | X         | X         | X         | 5                              | 10        | 5         |
|                            | Carótida                                                           |                              | X                               |                            |                  |              |                  |                    | X                                                    |                                                               | 20                       | 90                           | 135                 | X                                                       |           | X         | X         | 0                              | 5         | 10        |
|                            | Amputação                                                          |                              |                                 |                            |                  |              |                  | X                  |                                                      |                                                               | 20                       | 90                           | 90                  | X                                                       | X         | X         | X         | 5                              | 5         | 0         |
|                            | Endovascular (Laparoscopia)                                        |                              |                                 |                            |                  | X            | X                |                    | X                                                    |                                                               | 20                       | 90                           | 165                 | X                                                       |           |           | X         | 0                              | 0         | 10        |

Tabela 8 – Relação entre tipos de cirurgia e insumos necessários.

Nesta pesquisa, considera-se que a Central de Material de Esterilização (CME) não consegue esterilizar o instrumental cirúrgico para ser reutilizado no mesmo dia, ou seja, em cada dia ela apenas estoca os instrumentais cirúrgicos. Os níveis de estoque de cada tipo de instrumental cirúrgico são descritos na tabela 9. Assume-se também que o banco de sangue do hospital tenha capacidade de atender com bolsas de sangue até 1 paciente por dia.

| <b>CME – Instrumental cirúrgico</b> | <b>Quantidade disponível na CME</b> |
|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Fleboextrator                       | 1                                   |
| Cirurgia avançada extracraniana     | 2                                   |
| Cirurgia avançada de aorta          | 2                                   |
| Caixa de Varizes                    | 5                                   |
| Caixa de FAV                        | 2                                   |
| Caixa de Femoral                    | 3                                   |
| Caixa de Amputação                  | 2                                   |

Tabela 9 – Quantidade de instrumental cirúrgico disponível na central de material de esterilização.

A relação entre o quantitativo de residentes por tipo (médico R1, médico R2 e médico R3) é apresentado na Tabela 10.

| <b>Tipo de residente</b> | <b>Quantidade de residentes</b> |
|--------------------------|---------------------------------|
| Médico R1                | 2                               |
| Médico R2                | 2                               |
| Médico R3                | 2                               |

Tabela 10 – Quantidade de residentes por tipo.

O horário de funcionamento do centro cirúrgico para atendimento da demanda de cirurgias eletivas é de 7 às 19 horas somente nos dias úteis. Entretanto, considerou-se o horário de funcionamento de 8 às 17 (540 minutos) para garantir folga<sup>5</sup>. Assume-se, ainda, que o horizonte de tempo de ano em dias úteis seja de 250 dias.

## 5. MODELO TÁTICO PARA DIMENSIONAMENTO DE CAPACIDADE

Nesta seção apresenta-se a construção do modelo matemático, a partir dos índices, parâmetros e variáveis utilizados e das restrições que devem ser respeitadas.

Este modelo tem como objetivo aumentar a eficiência do planejamento de cirurgias, ou seja, encontrar a configuração que minimiza a alocação de recursos (salas,

<sup>5</sup> M'Hallah, & Al-Roomi (2014) apontam que há divergência na literatura quanto ao tamanho da folga. Entretanto, os mesmos defendem esta folga seja de 20 a 30% do tempo operacional disponível da sala. Nesta pesquisa adota-se uma folga neste intervalo (25%).



anestesistas e equipamentos) respeitando a quantidade mínima de cirurgias estabelecida pelo chefe do serviço cirúrgico e pela legislação vigente, que dias cada grupo de residentes deve realizar quais cirurgias, garantida a disponibilidade dos recursos necessários para a confecção das mesmas. Portanto, neste *Master Surgical Schedule* (MSS), atribui-se cirurgias e recursos para a um grupo de cirurgiões e não para cada cirurgião e não considera disponibilidade de *staff* como restrição para alocação de residentes. Ademais, todos os parâmetros possuem valores determinísticos. O modelo que atribui cirurgias para cada cirurgião será apresentado no Capítulo 6.

No âmbito do dimensionamento de recursos, o tomador de decisão pode considerar que os mesmos têm diferentes níveis de criticidade. A definição destes níveis pode estar relacionada à aquisição de novos recursos ou dificuldade de negociação de disponibilidade dos recursos existentes. Para tratar desta criticidade, atribui-se a cada um dos recursos da função objetivo um determinado “peso”. Este peso serve para definir qual recurso é mais importante minimizar garantindo que todas as restrições sejam atendidas, ou seja, “ordena” a busca pela solução ótima. Assim, a título de exemplo, se peso atribuído ao recurso sala for maior que os pesos atribuídos aos demais recursos, o *solver* buscará o menor valor possível para a alocação de salas.

## 5.1. NOMENCLATURA

A nomenclatura usada no modelo é descrito abaixo

| Índices | Significado                  | Domínio     | Sub índices |
|---------|------------------------------|-------------|-------------|
| ar      | cirurgia arterial            | AR = [2:5]  | ar          |
| c       | cirurgia                     | C = [1:7]   |             |
| d       | dia                          | D = [1:250] | s, e        |
| e       | equipamento                  | E = [1:1]   |             |
| i       | recurso                      | R = [1:3]   |             |
| m       | material                     | M = [1:7]   |             |
| p       | porte                        | P = [1:3]   |             |
| r       | classe (grupo) de residentes | R = [1:3]   |             |
| s       | sala                         | S = [1:2]   |             |

Quadro 1 – Declaração de índices do modelo *Master Surgical Schedule* (MSS).

| Parâmetros       | Significado                                                                                              | Valores         |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| $dCi_{c,p}$      | Duração da cirurgia (c) de porte (p)                                                                     | Tabela 08       |
| $fRe_{sem}$      | Frequência mínima de escalção do grupo de residentes por semana                                          | Tabelas 11 e 12 |
| $hReCi_{r,c,p}$  | Habilitação do residente (r) para executar a cirurgia (c) de porte (p)                                   | Tabela 08       |
| $M$              | Número grande                                                                                            | 100.000         |
| $Peso_i$         | Peso atribuído a cada tipo de recurso (i)                                                                | Tabelas 11 e 12 |
| $qAn_{sem}$      | Quantidade máxima de anestesistas cedidos na semana                                                      | Tabela 11       |
| $qCi_{Ano}$      | Quantidade mínima de cirurgias ano para cada residente                                                   | Tabela 06       |
| $qCi_{Ar}$       | Quantidade mínima de cirurgias arteriais para cada residente                                             | Tabela 07       |
| $qCi_{ArP}_p$    | Quantidade mínima de cirurgias arteriais por porte para cada residente                                   | Tabela 07       |
| $qCi_{Po}_p$     | Quantidade mínima de cirurgias do porte (p) para cada residente                                          | Tabela 06       |
| $qCiRe_{r,c,p}$  | Quantidade mínima de cirurgias (c) do porte (p) para o residente do tipo (r) estabelecido pelo preceptor | Tabela 08       |
| $qEq_{sem}_e$    | Quantidade máxima de equipamentos (e) cedidos na semana                                                  | Tabelas 11 e 12 |
| $qMat_m$         | Quantidade de materiais (m) cirúrgicos disponíveis na CME                                                | Tabela 08       |
| $qRe_r$          | Quantidade de residentes por tipo (r)                                                                    | Tabela 10       |
| $qSal_{sem}$     | Quantidade máxima de sala cedidas na semana                                                              | Tabelas 11 e 12 |
| $qSandi$         | Quantidade de pacientes atendidos pelo serviço de hemoterapia (sangue) por dia                           | 1               |
| $rCiAn_{c,p}$    | Relação cirurgia anestesista (c,p)                                                                       | Tabela 08       |
| $rCiEq_{c,p,e}$  | Relação cirurgia equipamento (c,p,e)                                                                     | Tabela 08       |
| $rCiMat_{c,p,m}$ | Relação cirurgia material (c,p,m)                                                                        | Tabela 08       |
| $rCiSan_{c,p}$   | Relação cirurgia sangue (c,p)                                                                            | Tabela 08       |
| $tPrep_p$        | Tempo de preparação para cirurgias de porte (p)                                                          | Tabela 08       |
| $tPres$          | Tempo de preparação da sala                                                                              | Tabela 08       |
| $tsala$          | Tempo de sala                                                                                            | 540 minutos     |

Quadro 2 – Declaração dos parâmetros do modelo *Master Surgical Schedule* (MSS).

| Variáveis             | Significado                                                                                                    | Tipo    |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| $AcReCi_{r,c,p}$      | Quantidade de cirurgias (c) do porte (p) realizadas pelos residentes do tipo (r) no ano                        | Inteira |
| $AnCi_{c,p}^{s,d}$    | Decisão de alocar anestesista para realizar a cirurgia (c) de porte (p) na sala (s) no dia (d)                 | Binária |
| $AnDi_{s,d}$          | Decisão de alocar anestesista na sala (s) no dia (d)                                                           | Binária |
| $AuxAn_{s,d}$         | Variável auxiliar criada para associar as variáveis $AnCi_{c,p,s,d}$ e $AnDi_{s,d}$                            | Inteira |
| $AuxEq_e^{s,d}$       | Variável auxiliar criada para associar as variáveis $EqCi_{e,c,p,s,d}$ e $EqDi_{e,s,d}$                        | Inteira |
| $AuxRe_r^d$           | Variável auxiliar criada para associar as variáveis $ReCi_{r,c,p,s,d}$ e $ReDi_{r,d}$                          | Inteira |
| $EqCi_{e,c,p}^{s,d}$  | Decisão de alocar o equipamento (e) na cirurgia (c) de porte (p) na sala (s) no dia (d)                        | Binária |
| $EqDi_e^{s,d}$        | Decisão de alocar o equipamento (e) na sala (s) no dia (d)                                                     | Binária |
| $MatCi_{m,c,p}^{s,d}$ | Decisão de alocar o material cirúrgico (m) na cirurgia (c) de porte (p) na sala (s) no dia (d)                 | Binária |
| $ReCi_{r,c,p}^{s,d}$  | Decisão de alocar algum residente do tipo (r) para realizar a cirurgia (c) de porte (p) na sala (s) no dia (d) | Binária |
| $ReDi_r^d$            | Decisão de alocar algum residente do tipo (r) no dia (d)                                                       | Binária |
| $Sala^{s,d}$          | Decisão de alocar/bloquear a sala (s) no dia (d) para o serviço cirúrgico                                      | Binária |
| $SanCi_{c,p}^{s,d}$   | Decisão de alocar bolsa de sangue na cirurgia (c) de porte (p) na sala (s) no dia (d)                          | Binária |

Quadro 3 – Declaração das variáveis do modelo *Master Surgical Schedule* (MSS).

## 5.2. FORMULAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO

Nesta seção são apresentadas as equações que compõem o modelo matemático.

Função objetivo:

$$\text{Min} \sum_{e,s,d} \text{Peso}_1 * Sala^{s,d} + \text{Peso}_2 * AnDi^{s,d} + \text{Peso}_3 * EqDi_e^{s,d} \quad (5.1)$$

A função objetivo (5.1) minimiza a alocações de salas ( $Sala^{s,d}$ ), anestesistas ( $AnDi^{s,d}$ ) e equipamento ( $EqDi_e^{s,d}$ ) ao longo do ano. A priorização é definida pelos pesos ( $\text{Peso}_i$ ). Por exemplo, se o peso atribuído ao recurso sala for maior que os pesos atribuídos aos demais recursos, o *solver* buscará o menor valor possível para a alocação de salas que atenda todas as restrições que serão apresentadas a seguir.

Restrições:

$$\sum_{c,p,r} ReCi_{r,c,p}^{s,d} * (dCi_{c,p} + tPrep_p + tPres) \leq tsala \quad \forall s, d \quad (5.2)$$

A equação 5.2 garante que cada sala seja utilizada no horário de funcionamento do centro cirúrgico (não permite *overtime*).

$$\sum_{c,p,s} ReCi_{r,c,p}^{s,d} * (dCi_{c,p} + tPrep_p + tPres) \leq tsala \quad \forall r, d \quad (5.3)$$

A equação 5.3 garante que cada residente trabalhe até o limite do horário de funcionamento do centro cirúrgico (não permite *overtime*). A combinação das equações 5.2 e 5.3 impede que cada residente tenha cargas de trabalho incompatíveis com o tempo disponível de sala ao somar todas as salas disponíveis, o que significaria, na prática, alocar o profissional em duas salas ao mesmo tempo.

$$ReCi_{r,c,p}^{s,d} \leq Sala^{s,d} \quad \forall r, c, p, s, d \quad (5.4)$$

A equação 5.4 apenas permite que algum residente do tipo (r) seja alocado para realizar a cirurgia (c) de porte (p) na sala (s) e dia (d) caso esta sala (s) esteja disponível para o serviço cirúrgico no dia (d). Para aumentar a eficiência do modelo (diminuir tempo de resolução e iterações), esta restrição é criada somente quando  $dCi_{c,p} > 0$  e  $hReCi_{r,c,p} = 1$ , ou seja, quando a cirurgia (c) do porte (p) existir e o residente do tipo (r) for habilitado a realizá-la.

$$AcReCi_{r,c,p} = \sum_{s,d} ReCi_{r,c,p}^{s,d} \quad \forall r, c, p \quad (5.5)$$

A equação 5.5 acumula o quantitativo de cada cirurgia (c) do porte (p) realizadas pelo residente do tipo (r) e é criada quando  $dCi_{c,p} > 0$  e  $hReCi_{r,c,p} = 1$  seguindo a mesma lógica da equação anterior. A variável  $AcReCi_{r,c,p}$  é utilizada nas equações 6, 7, 8 e 9 para garantir o cumprimento do quantitativo mínimo de cirurgias apresentado nas tabelas do Capítulo 4.

$$AcReCi_{r,c,p} \geq \underline{qCiRe}_{r,c,p} * qRe_r \quad \forall r, c, p \quad (5.6)$$

$$\sum_c AcReCi_{r,c,p} \geq \underline{qCiPo}_p * qRe_r \quad \forall r, p \quad (5.7)$$

$$\sum_{ar,p} AcReCi_{r,ar,p} \geq \underline{qCiAr} * qRe_r \quad \forall r \quad (5.8)$$

$$\sum_{ar} AcReCi_{r,ar,p} \geq \underline{qCiArP_p} * qRe_r \quad \forall r, p \quad (5.9)$$

$$\sum_{c,p} AcReCi_{r,c,p} \geq \underline{qCiAno} * qRe_r \quad \forall r \quad (5.10)$$

Este modelo não tem como objetivo alocar o cirurgião à cirurgia, mas sim designar o grupo de cirurgiões (no caso R1, R2 ou R3) que a realizará. Assim, torna-se necessário nas equações de 5.6 a 5.10 multiplicar o quantitativo de cirurgias pela quantidade de cirurgiões daquele grupo. A alocação de cada cirurgião será tratada no Capítulo 6 desta pesquisa.

$$AnCi_{c,p}^{s,d} = \sum_r ReCi_{r,c,p}^{s,d} \quad \forall c, p, s, d \quad (5.11)$$

A equação 5.11 associa para cada cirurgia (c) de porte (p) a necessidade de anestesista e é criada quando  $dCi_{c,p} > 0$  e  $rCiAn_{c,p} = 1$ , ou seja, quando a cirurgia (c) do porte (p) existir e ela necessitar do recurso anestesista para ser realizada.

$$AnDi^{s,d} + AuxAn^{s,d} = \sum_{c,p} AnCi_{c,p}^{s,d} \quad \forall s, d \quad (5.12)$$

$$AnDi^{s,d} * M \geq \sum_{c,p} AnCi_{c,p}^{s,d} \quad \forall s, d \quad (5.13)$$

As equações 5.12 e 5.13 associam a alocação diária e por sala do recurso anestesista (variável  $AnDi^{s,d}$ ) à quantidade de cirurgias realizadas com anestesista para cada cirurgia ( $\sum_{c,p} AnCi_{c,p}^{s,d}$ ) e são necessárias para atender ao termo  $\sum_{s,d} Peso_2 * AnDi^{s,d}$  da função objetivo. Como a decisão de alocar algum anestesista na sala (s) e no dia (d) é binária ( $AnDi^{s,d}$ ), foi necessário criar uma variável auxiliar  $AuxAn^{s,d}$  na equação 5.11 para receber a diferença entre o quantitativo de cirurgias e a variável binária. Entretanto, é necessário que esta decisão alocativa seja igual a 1 toda vez que um anestesista for designado para uma sala ao mesmo tempo em que tenta-se minimizar  $\sum_{s,d} Peso_2 * AnDi^{s,d}$ . Para resolver este problema, multiplica-se a variável

binária de decisão por um número grande ( $M$ ) que, por sua vez, deve ser maior que o lado direito da equação. Este método garante que toda vez que o quantitativo de cirurgias em um dia e em uma sala for maior que 1, a variável de decisão receberá valor 1.

$$EqDi_e^{s,d} + AuxEq_e^{s,d} = \sum_{c,p} EqCi_{e,c,p}^{s,d} \quad \forall e, s, d \quad (5.14)$$

$$EqDi_e^{s,d} * M \geq \sum_{c,p} EqCi_{e,c,p}^{s,d} \quad \forall e, s, d \quad (5.15)$$

As equações 5.14 e 5.15 associam a alocação diária e por sala do recurso equipamento (variável  $EqCi_{e,c,p}^{s,d}$ ) à quantidade de cirurgias realizadas com equipamento para cada cirurgia ( $EqDi_e^{s,d}$ ) e são necessárias para atender ao termo  $\sum_{e,s,d} Peso_3 * EqDi_e^{s,d}$  da função objetivo. Os termos  $EqDi_e^{s,d}$ ,  $AuxEq_e^{s,d}$ ,  $EqCi_{e,c,p}^{s,d}$ , e  $M$  seguem a mesma lógica apresentada na explicação das equações 5.11 e 5.12.

$$ReDi_r^d + AuxRe_r^d = \sum_{c,p,s} ReCi_{r,c,p}^{s,d} \quad \forall r, d \quad (5.16)$$

$$ReDi_r^d * M \geq \sum_{c,p,s} ReCi_{r,c,p}^{s,d} \quad \forall r, d \quad (5.17)$$

As equações 5.16 e 5.17 associam a alocação do residente de tipo ( $r$ ) no dia ( $d$ ) (variável  $ReDi_{r,d}$ ) e são necessárias para atender a equação 21 referente a Frequência mínima de escalção do residente por semana. Os termos  $ReDi_r^d$ ,  $AuxRe_r^d$ ,  $ReCi_{r,c,p}^{s,d}$ , e  $M$  seguem a mesma lógica apresentada na explicação das equações 5.11 e 5.12.

$$MatCi_{m,c,p}^{s,d} = \sum_r ReCi_{r,c,p}^{s,d} \quad \forall m, c, p, s, d \quad (5.18)$$

A equação 5.18 associa o material cirúrgico ( $MatCi_{m,c,p}^{s,d}$ ) necessário para cada cirurgia ( $c$ ) de porte ( $p$ ) e é criada quando  $dCi_{c,p} > 0$  e  $rCiMat_{c,p,m} = 1$ , ou seja, quando a cirurgia ( $c$ ) do porte ( $p$ ) existir e o material cirúrgico ( $m$ ) for necessário para sua realização.

$$\sum_{c,p,s} MatCi_{m,c,p}^{s,d} \leq qMat_m \quad \forall m,d \quad (5.19)$$

A equação 5.19 limita o quantitativo de cirurgias realizados no dia (d) em função da disponibilidade de materiais cirúrgicos (m) da CME. Nesta formulação a CME tem apenas a função de estoque e o reprocessamento dos instrumentais não é feita em tempo hábil para ser utilizado em outra cirurgia no mesmo dia.

$$SanCi_{c,p}^{s,d} = \sum_r ReCi_{r,c,p}^{s,d} \quad \forall c,p,s,d \quad (5.20)$$

A equação 5.20 associa o recurso bolsa de sangue ( $SanCi_{c,p,s,d}$ ) necessário para cada cirurgia (c) de porte (p) e é criada quando  $dCi_{c,p} > 0$  e  $rCiSan_{c,p} = 1$ , ou seja, quando a cirurgia (c) do porte (p) existir e for necessário bolsa de sangue para sua realização.

$$\sum_{c,p,s} SanCi_{c,p}^{s,d} \leq qSandi \quad \forall d \quad (5.21)$$

A equação 5.21 limita o quantitativo de cirurgias realizados no dia (d) em função da disponibilidade de bolsas de sangue disponibilizados pelo serviço de hemoterapia.

$$\sum_{d=4}^d ReDi_r^d \geq \underline{fResem} \quad \forall r,d \quad (5.22)$$

A equação 5.22 garante, para quaisquer 5 dias seguidos (semana), que o grupo de residentes (r) será escalado em pelo menos  $\underline{fResem}$  dias. Nesta equação, foi necessário definir um horizonte de tempo diferente do restante do modelo para impedir a soma, por exemplo, de 3 *slots* de dia a partir do dia 248 (no caso, o *solver* tentaria somar até dia 251 o que seria maior que o horizonte de planejamento), ou seja, ela é criada para todos o período excluindo os últimos  $\underline{fResem}$  dias (no caso,  $250 - \underline{fResem}$ ).

$$\sum_{s,d=4}^d Sala^{s,d} \leq \overline{qSalasem} \quad \forall d \quad (5.23)$$

A equação 5.23 garante, para quaisquer 5 dias seguidos (semana), que seja permitido a alocação de até  $\overline{qSalasem}$  salas.

$$\sum_{s,d=4}^d AnDi^{s,d} \leq \overline{qAnsem} \quad \forall d \quad (5.24)$$

A equação 5.24 garante, para quaisquer 5 dias seguidos (semana), que seja permitido a alocação de até  $\overline{qAnsem}$  anestesistas.

$$\sum_{s,d=4}^d EqDi_e^{s,d} \leq \overline{qEqsem_e} \quad \forall e, d \quad (5.25)$$

A equação 5.25 garante, para quaisquer 5 dias seguidos (semana), que seja permitido a alocação de até  $\overline{qEqsem_e}$  do equipamento (e).

### 5.3. ESPECIFICAÇÃO DE CENÁRIOS COM REGRAS DE NEGÓCIO INATIVAS

O modelo apresentado na seção anterior possui parâmetros não apresentados até agora e que têm a função de atribuir pesos aos diferentes cenários e considerar regras de negócio referentes à frequência mínima de escalação do grupo de residentes por semana ( $fResem$ ), quantidade máxima de sala cedidas na semana ( $\overline{qSalasem}$ ), quantidade máxima de anestesistas cedidos na semana ( $\overline{qAnsem}$ ), quantidade máxima de equipamentos (e) cedidos na semana ( $\overline{qEqsem_e}$ ).

A depender de seus parâmetros, a combinação da tríade quantidade de cirurgias residentes por tipo, quantitativo mínimo de cirurgias e regras de negócio atuais pode não gerar soluções viáveis. Dessa forma, na Tabela 11, são propostos 5 cenários nos quais variam-se os pesos e desconsidera-se regras de negócio com propósito inicial de entender ao longo dos cenários, ainda que de forma grosseira, quais serão os impactos relacionados à adoção das mesmas.

Na Tabela 11, a primeira coluna especifica os cenários. Nas colunas 2, 3 e 4, são apresentados os pesos atribuídos à alocação de sala de cirurgia ( $Sala^{s,d}$ ), alocação de



anestesistas ( $AnDi^{s,d}$ ) e alocação de equipamento ( $EqDi_e^{s,d}$ ). As colunas 5, 6, 7 e 8 apresentam os valores dos parâmetros que foram adotados para cada regra de negócio.

| Cenário | Peso por decisão alocativa relacionado a |                    |             | Regras de negócio de alocação semanal |                                  |                                         |                                        |
|---------|------------------------------------------|--------------------|-------------|---------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|
|         | Sala de cirurgia                         | Anestesi-<br>sista | Equipamento | Frequência<br>mínima                  | Quantidade<br>máxima de<br>salas | Quantidade<br>máxima de<br>anestesistas | Quantidade<br>máxima de<br>equipamento |
| 1       | 1000000                                  | 1000               | 1           | 0                                     | 10                               | 10                                      | 10                                     |
| 2       | 1                                        | 1000               | 1000000     | 0                                     | 10                               | 10                                      | 10                                     |
| 3       | 1000                                     | 1000000            | 1           | 0                                     | 10                               | 10                                      | 10                                     |
| 4       | 1                                        | 1000000            | 1000        | 0                                     | 10                               | 10                                      | 10                                     |
| 5       | 1000                                     | 1000               | 1           | 0                                     | 10                               | 10                                      | 10                                     |
| 6       | 1                                        | 1000               | 1000        | 0                                     | 10                               | 10                                      | 10                                     |
| 7       | 1000                                     | 1                  | 1000        | 0                                     | 10                               | 10                                      | 10                                     |
| 8       | 1                                        | 1                  | 1           | 0                                     | 10                               | 10                                      | 10                                     |

Tabela 11 – Pesos e regras de negócio por cenário.

Ainda que estes cenários não tenham um “valor prático”, a resposta deles nos permite avaliar quais regras tem mais impacto, quais interferem pouco na programação e, a partir disso, prover ao tomador de decisão direcionamentos sobre quais regras poderiam ser desconsideradas, reforçadas, adotadas ou negociadas com outras clínicas ou chefia do centro cirúrgico.

No caso, tomando como exemplo o cenário 1 da tabela 11, o solver alocará o conjunto de cirurgiões do mesmo ano de residência na menor quantidade de salas possível (maior peso atribuído no cenário 1). A seguir, definido o número de salas, o solver buscará a menor quantidade de alocação de anestestesistas (peso intermediário no cenário 1) realocando, para tanto, as cirurgias em cada sala e em cada dia. Ao final, especificadas as quantidades de salas e anestestesistas, o solver buscará a menor quantidade de alocação de equipamento (menor no cenário 1). Ademais, neste cenário, não há obrigatoriedade de escalar o grupo de residentes em toda semana e são considerados até 2 salas disponíveis em cada um dos cinco dias da semana, ou seja, 10 salas na semanas onde, se necessário, é possível, mas não desejável, que todas disponham de anestestesistas e equipamentos.

Os resultados destes cenários serão apresentados e discutidos na seção 5.5 deste Capítulo.

#### 5.4. ESPECIFICAÇÃO DE CENÁRIOS COM REGRAS DE NEGÓCIO ATIVAS

Na seção anterior foram apresentados os parâmetros que têm a função de atribuir pesos aos diferentes cenários e considerar regras de negócio referentes à frequência mínima de escalação do grupo de residentes por semana ( $fResem$ ), quantidade máxima de sala cedidas na semana ( $\overline{qSalasem}$ ), quantidade máxima de anestesistas cedidos na semana ( $\overline{qAnsem}$ ), quantidade máxima de equipamentos (e) cedidos na semana ( $\overline{qEqsem}_e$ ). Entretanto, ao longo dos cenários apresentados nela (Tabela 11), as 4 restrições que envolvem os parâmetros mencionados acima não limitavam o espaço de solução, ou seja, não estavam ativas.

Assim, na Tabela 12, propõe-se dois cenários (6 e 7) nos quais a alteração das regras de negócio em relação ao cenário 1 pode piorar e, no limite, inviabilizar a solução. Nesta tabela, a primeira coluna especifica os cenários. Nas colunas 2, 3 e 4, são apresentados os pesos atribuídos à alocação de sala de cirurgia ( $Sala^{s,d}$ ), alocação de anestesistas ( $AnDi^{s,d}$ ) e alocação de equipamento ( $EqDi_e^{s,d}$ ). As colunas 5, 6, 7 e 8 apresentam os valores dos parâmetros que foram adotados para cada regra de negócio.

| Cenário | Peso por decisão alocativa relacionado a |             |             |                   | Regras de negócio de alocação semanal |                                   |                                  |
|---------|------------------------------------------|-------------|-------------|-------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
|         | Sala de cirurgia                         | Anestesista | Equipamento | Frequência mínima | Quantidade máxima de salas            | Quantidade máxima de anestesistas | Quantidade máxima de equipamento |
| 9       | 1000000                                  | 1000        | 1           | 3                 | 8                                     | 8                                 | 8                                |
| 10      | 1000000                                  | 1000        | 1           | 3                 | 8                                     | 7                                 | 6                                |

Tabela 12 – Pesos e regras de negócio por cenário.

#### 5.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS DO MODELO TÁTICO

Os resultados para os diferentes cenários apresentados na Tabelas 11 e 12 são apresentados nas Tabelas 13, 14, 15 e 16.

Na Tabela 13, a primeira coluna designa o cenário e na segunda apresenta, nominalmente, a ordem de priorização de recursos adotada (“traduz” os pesos apresentados nas tabelas 11 e 12).

Na terceira e quarta coluna é apresentado o porte do modelo, ou seja, a quantidade de

variáveis de decisão (sejam elas inteiras ou binárias) e quantas restrições foram utilizadas respectivamente. A quantidade de variáveis de decisão e restrições é igual para os cenários de 1 a 8, pois, neles a restrição 21 não está ativa, uma vez que não foi estabelecido um valor de frequência mínima de escalação do grupo de residentes por semana ( $fResem = 0$ ).

Na quinta coluna, são apresentados os tempos de resolução dos cenários e seus respectivos *gaps* (coluna 6). Este *gaps* são a diferença percentual entre o resultado encontrado pela relaxação linear (solução fracionária sem “valor prático”) e a melhor solução inteira (alocação de grupos de residentes, por exemplo) encontrada durante o tempo de resolução. Caso o *gap* atinja o valor 0,00% significa que a melhor solução inteira encontrada é a solução ótima.

Os resultados das melhores soluções inteiras encontradas para cada cenário são apresentadas nas colunas 7, 8, 9 e 10. Estas soluções especificam, para o horizonte de 250 dias, a utilização média e as menores quantidades de salas (# Salas), salas com anestesista (# Salas com anestesista) e salas com equipamento (# Salas com equipamento) que, no modelo, referem-se aos termos  $\sum_{s,d} Sala^{s,d}$ ,  $\sum_{s,d} AnDi^{s,d}$  e  $\sum_{e,s,d} EqDi_e^{s,d}$  respectivamente.

A distribuição de salas e cirurgias ao longo do tempo para o cenário 1 são apresentados nas figuras 14 e 15 a título de exemplo. Os gráficos referentes aos demais cenários são apresentados no apêndice A.

| Tabela Síntese | Dados de entrada                             |                        |              | Respostas do modelo            |                 |                                        |         |                         |                         |
|----------------|----------------------------------------------|------------------------|--------------|--------------------------------|-----------------|----------------------------------------|---------|-------------------------|-------------------------|
|                | Função objetivo                              | Porte do modelo        |              | Recurso computacional          | Soluções gerais | Respostas do modelo de dimensionamento |         |                         |                         |
| Cenário        | Ordem de criticidade do recurso (hierarquia) | # variáveis de decisão | # restrições | Tempo de solução (em segundos) | Gap (%)         | Utilização média (%)                   | # Salas | # Salas com anestesista | # Salas com equipamento |
| 1              | Sala; anestesista; equipamento               | 52250                  | 70621        | 11.456,4                       | 1,48            | 86,9                                   | 285     | 285                     | 262                     |
| 2              | Equipamento; anestesista; sala               | 52250                  | 70621        | 10.026,2                       | 0,03            | 73,3                                   | 339     | 274                     | 200                     |
| 3              | Anestesista; sala; equipamento               | 52250                  | 70621        | 12.340,2                       | 4,39            | 73,3                                   | 344     | 230                     | 333                     |
| 4              | Anestesia; equipamento; sala                 | 52250                  | 70621        | 10.178,3                       | 4,39            | 69,1                                   | 364     | 230                     | 310                     |
| 5              | Sala e anestesista; equipamento              | 52250                  | 70621        | 19.633,1                       | 11,55           | 83,5                                   | 297     | 269                     | 270                     |
| 6              | Anestesista e equipamento; sala              | 52250                  | 70621        | 68.774,9                       | 12,19           | 70,1                                   | 354     | 278                     | 200                     |
| 7              | Sala e equipamento; anestesista              | 52250                  | 70621        | 69.962,0                       | 2,48            | 84,6                                   | 293     | 293                     | 200                     |
| 8              | Sem hierarquia                               | 52250                  | 70621        | 106.748,5                      | 10,44           | 84,9                                   | 290     | 280                     | 200                     |
| 9              | Sala; anestesista; equipamento               | 52250                  | 70612        | 60.038,6                       | 1,48            | 86,9                                   | 285     | 285                     | 262                     |
| 10             | Sala; anestesista; equipamento               | 52250                  | 70612        | 60.051,3                       | 1,83            | 86,6                                   | 286     | 286                     | 254                     |

Tabela 13 – Síntese dos resultados do modelo de dimensionamento no horizonte anual.

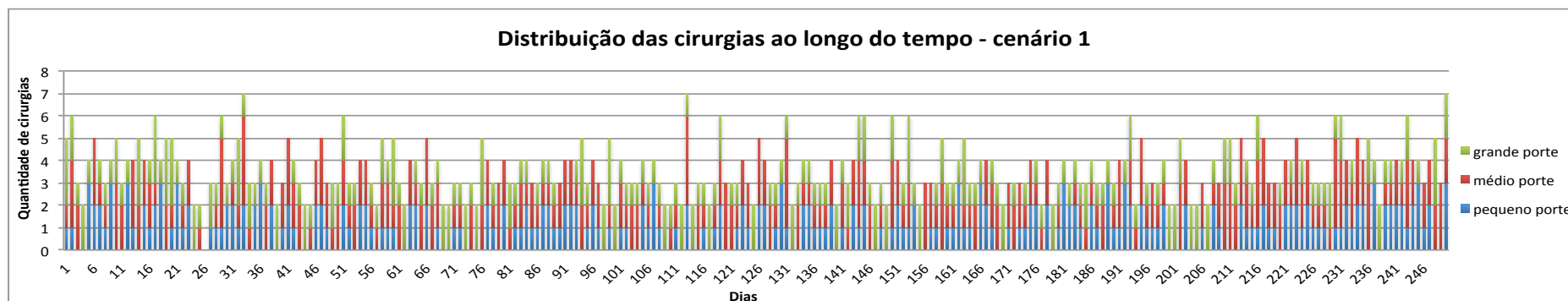


Figura 14 – Distribuição das cirurgias ao longo do tempo no cenário 1.

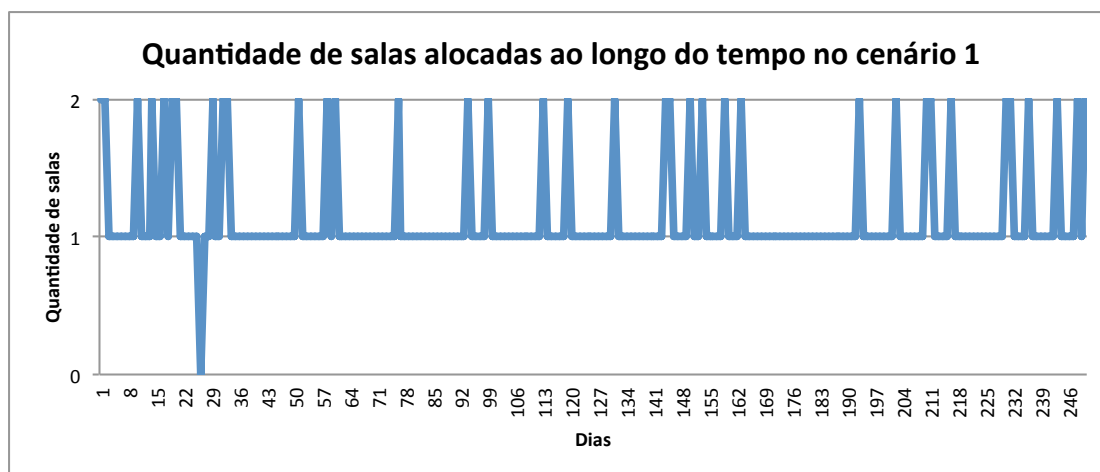


Figura 15 – Quantidade de salas alocadas ao longo do tempo no cenário 1.

Para todos os cenários utilizou-se o software comercial AIMMS 3.14 com o *solver* padrão CPLEX 12.6 em um computador com processador Intel Core i5 e 16 Gb de memória RAM.

Observa-se a partir da tabela 12 que para atender o *mix* de cirurgias definidos pelo regulatório e pelo preceptor nos cinco primeiros cenários a quantidade de recursos alocados variam nos intervalos de 273 a 347 para salas, de 224 a 279 salas com anestesiastas e de 200 a 310 salas com equipamento.

No caso, como o serviço cirúrgico em questão atualmente dispõe de 8 salas de cirurgia na semana (regra definida pela direção do centro cirúrgico) e, portanto, 400 salas no ano (até 2 salas de cirurgia por dia até 8 salas semana durante os 250 dias), pode-se afirmar que esta restrição de salas (equação 5.22) não limita o espaço de soluções viáveis.

Entretanto, devido a escassez dos demais recursos (anestesiastas e equipamentos), a direção do centro cirúrgico atribui, no horizonte semanal, apenas 3 dias de salas com anestesiasta e 3 dias de salas com equipamento. A partir dos resultados do modelo, conclui-se que estas duas regras inviabilizam qualquer solução. Pois, estes dois recursos no horizonte anual (250 dias) estariam disponíveis somente em 150 dias (3 dias na semana ao longo de 50 semanas) ao passo que seriam necessários, no mínimo, 224 salas com anestesiasta e 262 salas com equipamento (cenário 4) ou 247 salas com anestesiasta e 200 salas com equipamento (cenário 2).

Dessa forma, o único recurso que não faria sentido priorizar (atribuir maior peso) em

detrimento aos demais seria salas de cirurgia. Entretanto, o cenário 1 foi escolhido como ideal pelo cirurgião chefe do serviço de cirurgia vascular com o argumento de que outros serviços cirúrgicos recebem menos de sala na semana e uma solução deste tipo poderia, no limite, liberar espaços de sala para serem alocados conforme outras regras ou mesmo para ficarem disponíveis.

Assim, trabalhando com a ordem de prioridade proposta no cenário 1, e mudando os parâmetros de frequência mínima de escalação do grupo de residentes por semana para 3 ( $\overline{fResem} = 3$ ), quantidade máxima de sala cedidas na semana para 8 ( $\overline{qSalasem} = 8$ ), quantidade máxima de anestesistas cedidos na semana para 8 ( $\overline{qAnsem} = 8$ ) e quantidade máxima de equipamentos (e) cedidos na semana para 8 ( $\overline{qEqsem}_e = 8$ ) foi gerado o cenário 9 e, no cenário 10<sup>6</sup>, os parâmetros anteriores tiveram seus valores alterados, respectivamente, para 3, 8, 7 e 6. Assim, no último cenário tem-se como objetivo aproximar os dois últimos parâmetros às regras de negócio atuais e verificar o impacto desta alteração na solução encontrada.

Por escolha do preceptor, assumiu-se o cenário 10 como ideal por ele ser o que mais se aproxima do conjunto de regras atuais e para este são apresentadas nas Tabelas 14 e 15 a distribuição da quantidade de cirurgias por tipo e por porte e para cada grupo de residentes ( $AcReCi_{r,c,p}$ ). Na tabela 16 os resultados são sintetizados por porte. Para as 3 tabelas, são comparados os resultados do modelo com os quantitativos mínimos estabelecidos nas Tabelas 6 e 8 multiplicados pela quantidade de residentes por grupo (2 para todos os casos) com intuito de demonstrar que todas as regras preconizadas foram atendidas.

---

<sup>6</sup> Tentou-se primeiramente  $\overline{qAnsem} = 6$  e  $\overline{qEqsem}_e = 6$ , mas não foi obtido qualquer resposta viável em 12:30:00. Posteriormente tentou-se  $\overline{qAnsem} = 6$  e  $\overline{qEqsem}_e = 7$ , mas não foi encontrada solução inteira (resposta viável) passadas 24 horas de tempo de resolução. Considerando  $\overline{fResem} = 0$ ,  $\overline{qSalasem} = 10$ ,  $\overline{qAnsem} = 6$  e  $\overline{qEqsem}_e = 7$  também não foi encontrada qualquer solução inteira (resposta viável) em mais de 24 horas.

|                    |                             | Resposta do modelo      |    |    | Quantitativo mínimo estabelecido pelo preceptor |    |    |
|--------------------|-----------------------------|-------------------------|----|----|-------------------------------------------------|----|----|
| Portes e cirurgias |                             | Grupo de residentes (r) |    |    | Grupo de residentes (r)                         |    |    |
| porte              | cirurgia                    | R1                      | R2 | R3 | R1                                              | R2 | R3 |
| Pequeno            | Varizes e Veia              | 20                      |    |    | 20                                              |    |    |
|                    | Aorta                       |                         |    |    |                                                 |    |    |
|                    | Fistula                     | 40                      |    | 60 | 40                                              |    |    |
|                    | Femoral                     | 10                      | 30 |    | 10                                              | 30 |    |
|                    | Carótida                    |                         |    |    |                                                 |    |    |
|                    | Amputação                   | 20                      | 40 |    | 20                                              |    |    |
|                    | Endovascular (Laparoscopia) |                         | 20 | 30 |                                                 | 20 | 30 |
| Médio              | Varizes e Veia              | 20                      | 10 | 17 | 20                                              | 10 |    |
|                    | Aorta                       |                         |    |    |                                                 |    |    |
|                    | Fistula                     | 40                      |    | 13 | 40                                              |    |    |
|                    | Femoral                     | 20                      | 30 | 30 | 20                                              | 30 | 30 |
|                    | Carótida                    |                         | 30 | 20 |                                                 | 30 | 20 |
|                    | Amputação                   | 40                      | 30 |    | 20                                              |    |    |
|                    | Endovascular (Laparoscopia) |                         | 20 | 40 |                                                 | 20 | 40 |
| Grande             | Varizes e Veia              | 10                      | 10 | 1  | 10                                              | 10 |    |
|                    | Aorta                       |                         | 30 | 10 |                                                 | 30 | 10 |
|                    | Fistula                     | 20                      | 10 | 29 | 10                                              | 10 |    |
|                    | Femoral                     | 10                      | 20 | 10 | 10                                              | 20 | 10 |
|                    | Carótida                    |                         | 10 | 20 |                                                 | 10 | 20 |
|                    | Amputação                   | 50                      | 10 |    | 10                                              | 10 |    |
|                    | Endovascular (Laparoscopia) |                         |    | 20 |                                                 |    | 20 |

Tabela 14 – distribuição da quantidade de cirurgias por grupo de residente do cenário 10.

|                              |                    | Resposta do modelo      |     |     | Resolução CNRM nº 02 /2006 |
|------------------------------|--------------------|-------------------------|-----|-----|----------------------------|
| Portes e cirurgias arteriais |                    | Grupo de residentes (r) |     |     | Grupo de residentes (r)    |
| porte                        | Cirurgia arteriais | R1                      | R2  | R3  | Qualquer categoria         |
| Pequeno                      | Aorta              |                         |     |     | -                          |
|                              | Fistula            | 40                      |     | 60  |                            |
|                              | Femoral            | 10                      | 30  |     |                            |
|                              | Carótida           |                         |     |     |                            |
|                              | Subtotal           | 50                      | 30  | 60  | 30                         |
| Médio                        | Aorta              |                         |     |     |                            |
|                              | Fistula            | 40                      |     | 13  |                            |
|                              | Femoral            | 20                      | 30  | 30  |                            |
|                              | Carótida           |                         | 30  | 20  |                            |
|                              | Subtotal           | 60                      | 60  | 63  | 40                         |
| Grande                       | Aorta              |                         | 30  | 10  |                            |
|                              | Fistula            | 20                      | 10  | 29  |                            |
|                              | Femoral            | 10                      | 20  | 10  |                            |
|                              | Carótida           |                         | 10  | 20  |                            |
|                              | Subtotal           | 30                      | 70  | 69  | 30                         |
| Total                        | -                  | 140                     | 160 | 192 | 100                        |

Tabela 15 – distribuição da quantidade de cirurgias arteriais por grupo de residente do cenário 10.

|  |               | Resposta do modelo     |     |     | Resolução CNRM nº 02 /2006 |
|--|---------------|------------------------|-----|-----|----------------------------|
|  |               | Grupo de residente (r) |     |     | Grupo de residentes (r)    |
|  | Cirurgias de  | R1                     | R2  | R3  | Qualquer categoria         |
|  | pequeno porte | 90                     | 90  | 90  | 90                         |
|  | médio porte   | 120                    | 120 | 120 | 120                        |
|  | grande porte  | 90                     | 90  | 90  | 90                         |
|  | Total         | 300                    | 300 | 300 | 300                        |

Tabela 16 – síntese do cenário 10.

Esta seção teve o objetivo de responder o primeiro objetivo geral proposto na seção 1.2, ou seja, para diferentes níveis de criticidade entre os recursos, qual a quantidade mínima a ser alocada de forma a garantir os requisitos mínimos de formação incorporando as regras de negócio atuais.

Neste capítulo foi apresentado o modelo que tinha como objetivo alocar o *case mix* proposto tanto pela legislação vigente quanto pelo preceptor (cirurgião chefe do serviço de cirurgia vascular) a grupos de cirurgiões residentes (R1, R2 e R3). Como resultado deste modelo têm-se, portanto, uma resposta viável para o *Master Surgical Schedule* e no capítulo seguinte propõe-se um modelo para a distribuição destas cirurgias entre os residentes de forma a nivelar a carga de trabalho. A solução viável para a distribuição das cirurgias ao longo das salas e dos dias considerando os



diversos recursos e regras tratados neste capítulo é dado por  $\sum_r ReCi_{r,c,p}^{s,d}$ . No modelo apresentado no capítulo 6 esta variável torna-se um parâmetro que, por questão de simplicidade, será chamado de Planejamento de cirurgias ( $plCi_{c,p}^{s,d}$ ).

## 6. MODELO OPERACIONAL DE ALOCAÇÃO DE RESIDENTES

Considerando que criticidade na alocação dos recursos segue a ordem (hierarquia) tratada no cenário 10, utiliza-se o Planejamento de cirurgias ( $plCi_{c,p}^{s,d}$ ) (resposta do modelo apresentado no Capítulo 5) e a quantidade de cirurgias realizadas por cada grupo de residentes ( $AcReCi_{r,c,p}$ ) como parâmetros do modelo que será apresentado neste capítulo. Agora, garantida a alocação de recursos pelo *Master Surgical Schedule*, é necessário designar qual cirurgião realizará qual cirurgia, em que sala e em qual dia (*Surgical Case Assignment Problem*) de forma que cada cirurgião cumpra todas as restrições de formação tratadas no Capítulo 4 e que eles tenham carga de trabalho equilibradas em relação ao seu par (cirurgião do mesmo ano de residência).

No modelo apresentado a seguir, tomam-se as respostas do cenário 10 como parâmetro e tem-se como objetivo equilibrar quantidade de cirurgias entre médicos do mesmo ano de residência. Assim, minimiza-se a diferença ( $\delta$ ) entre a quantidade de cirurgias entre estes médicos para cada tipo de cirurgia (c) e para porte (p) para os quais o médico (m) está habilitado a executar.

### 6.1. NOMENCLATURA

A nomenclatura usada no modelo é descrito abaixo

| Índices | Significado                  | Domínio     | Sub índices  |
|---------|------------------------------|-------------|--------------|
| ar      | cirurgia arterial            | AR = [2:5]  | ar<br><br>m` |
| c       | cirurgia                     | C = [1:7]   |              |
| d       | dia                          | D = [1:250] |              |
| m       | médico                       | M = [1:6]   |              |
| p       | porte                        | P = [1:3]   |              |
| r       | grupo (classe) de residentes | R = [1:3]   |              |
| s       | sala                         | S = [1:2]   |              |

Quadro 4 – Declaração de índices do modelo *Surgical Case Assignment Problem* (SCAP).

| Parâmetros           | Significado                                                                                   | Valores         |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| $fMe_{sem}$          | Frequência mínima de escalação do médico por semana                                           | 1               |
| $hMeCi_{m,c,p}$      | Habilitação do médico (m) para executar a cirurgia (c) de porte (p)                           | Tabela 08       |
| $M$                  | Número grande                                                                                 | 100.000         |
| $paMeMe_{m,m'}$      | Paridade médico mesma classe (m,m')                                                           | Tabela 17       |
| $paMeRe_{m,r}$       | Paridade médico (m) residente (r)                                                             | Tabela 17       |
| $plCi_{r,c,p}^{s,d}$ | Planejamento de cirurgias (MSS)                                                               | -               |
| $qCiA_{no}$          | Quantidade mínima de cirurgias ano para cada médico                                           | Tabela 06       |
| $qCiA_r$             | Quantidade mínima de cirurgias arteriais para cada médico                                     | Tabelas 06 e 07 |
| $qCiMe_{m,c,p}$      | Quantidade mínima de cirurgias (c) do porte (p) para o médico (m) estabelecido pelo preceptor | Tabela 08       |
| $qCiPo_p$            | Quantidade mínima de cirurgias do porte (p) para cada médico                                  | Tabela 06       |

Quadro 5 – Declaração dos parâmetros do modelo *Surgical Case Assignment Problem* (SCAP).

| Variáveis            | Significado                                                                                                                       | Tipo    |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| $AcMeCi_{m,c,p}$     | Quantidade de cirurgias (c) do porte (p) realizadas pelo médico (m) no ano                                                        | Inteira |
| $AcReCi_{r,c,p}$     | Quantidade de cirurgias (c) do porte (p) realizadas pelos residentes do tipo (r) realizadas no ano                                | Inteira |
| $AuxMe_m^d$          | Variável auxiliar criada para associar as variáveis $MeCi_{m,c,p}^{s,d}$ e $MeDi_m^d$                                             | Inteira |
| $\delta_{m,c,p}$     | quantidade de cirurgias do tipo (c) e porte (p) que o médico (m) realizou a mais em relação ao médico do mesmo ano de residência. | Inteira |
| $MeCi_{m,c,p}^{s,d}$ | Decisão de alocar o médico (m) para realizar a cirurgia (c) de porte (p) na sala (s) no dia (d)                                   | Binária |
| $MeDi_m^d$           | Decisão de alocar o médico (m) no dia (d)                                                                                         | Binária |

Quadro 6 – Declaração das variáveis do modelo *Surgical Case Assignment Problem* (SCAP).

Os parâmetros  $paMeRe_{m,r}$  e  $paMeMe_{m,m'}$  desta lista foram criados com propósito de generalização do modelo para associar, respectivamente, o médico ao seu grupo (R1, R2 e R3) e ao seu par (M1 e M2; M3 e M4; M5 e M6), ou seja, relacionam um médico (m) ao outro médico (m') do mesmo para cada ano de residência. Estas relações são apresentadas na Tabela 17.

|            | Paridades                          |   |   |                                  |   |   |   |   |   |
|------------|------------------------------------|---|---|----------------------------------|---|---|---|---|---|
|            | paMeRe – médico (m) - residente(r) |   |   | paMeMe – médico (m) - médico (m) |   |   |   |   |   |
| Médico (m) | 1                                  | 2 | 3 | 1                                | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1          | 1                                  |   |   |                                  | 1 |   |   |   |   |
| 2          | 1                                  |   |   | 1                                |   |   |   |   |   |
| 3          |                                    | 1 |   |                                  |   |   | 1 |   |   |
| 4          |                                    | 1 |   |                                  |   | 1 |   |   |   |
| 5          |                                    |   | 1 |                                  |   |   |   |   | 1 |
| 6          |                                    |   | 1 |                                  |   |   |   | 1 |   |

Tabela 17 – Paridade médico residente e médico de mesmo ano de residência.

## 6.2. FORMULAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO OPERACIONAL

Nesta seção são apresentadas as equações que compõem o modelo matemático.

Função objetivo:

$$\text{Min} \sum_{m,c,p} \delta_{m,c,p} \quad (6.1)$$

A função objetivo (6.1) minimiza a quantidade excedente de cirurgias do tipo (c) e porte (p) que o médico (m) realizou em relação ao médico do mesmo ano de residência. Na perspectiva de formação, esta função objetivo não só contribui para a distribuição balanceada da carga de trabalho, mas também “força” que os médicos do mesmo ano de residência tenham *case mix* iguais (com resposta 0 para esta função objetivo) ou muito próximos (resposta diferente de 0).

Restrições:

$$\sum_m MeCi_{m,c,p}^{s,d} \leq plCi_{c,p}^{s,d} \quad \forall c, p, s, d \quad (6.2)$$

A equação 6.2 permite alocação de até um médico (m) para realizar a cirurgia (c) do porte (p) na sala (s) no dia (d) previsto no Planejamento de cirurgias (MSS) e é criada quando  $paMeRe_{m,r} = 1$ , ou seja, quando o médico (m) pertencer ao grupo de residentes (r).

$$AcMeCi_{m,c,p} = \sum_{s,d} MeCi_{m,c,p}^{s,d} \quad \forall m, c, p \quad (6.3)$$

A equação 6.3 acumula o quantitativo de cada cirurgia (c) do porte (p) realizadas pelo médico (m) e é criada quando  $hMeCi_{m,c,p} = 1$ , ou seja, quando o médico (m) estiver habilitado a realizar a cirurgia (c) do porte (p). A variável  $AcMeCi_{m,c,p}$  é utilizada nas equações 4, 5, 6 e 7 para garantir o cumprimento do quantitativo mínimo de cirurgias apresentado nas tabelas 06, 07 e 08 do capítulo 4.

$$AcMeCi_{m,c,p} \geq \underline{qCiMe}_{m,c,p} \quad \forall m, c, p \quad (6.4)$$

$$\sum_c AcMeCi_{m,c,p} \geq \underline{qCiPo_p} \quad \forall m, p \quad (6.5)$$

$$\sum_{ar,p} AcMeCi_{m,ar,p} \geq \underline{qCiAr} \quad \forall m, c \quad (6.6)$$

$$\sum_{ar} AcMeCi_{m,ar,p} \geq \underline{qCiArP_p} \quad \forall m, c, p \quad (6.7)$$

$$\sum_{c,p} AcMeCi_{m,c,p} \geq \underline{qCiAno} \quad \forall m \quad (6.8)$$

As equações de 6.4 a 6.8 garantem que cada médico (m) realize os quantitativos mínimos de cirurgia por tipo e porte que foram especificados no Capítulo 4.

$$MeDi_m^d + AuxMe_m^d = \sum_{c,p,s} MeCi_{m,c,p}^{s,d} \quad \forall m, d \quad (6.9)$$

$$MeDi_m^d * M \geq \sum_{c,p,s} MeCi_{m,c,p}^{s,d} \quad \forall m, d \quad (6.10)$$

As equações 6.9 e 6.10 associam a alocação do residente de tipo (r) no dia (d) (variável  $ReDi_{r,d}$ ) e são necessárias para atender a equação 10 referente a Frequência mínima de escalção do residente por semana. Como a decisão de alocar o médico (m) no dia (d) é binária ( $MeDi_m^d$ ), foi necessário criar uma variável auxiliar  $AuxMe_m^d$  na equação 6.8 para receber a diferença entre o quantitativo de cirurgias e a variável binária. Entretanto, é necessário que esta decisão alocativa seja igual a 1 toda vez que o médico (m) for escalado naquele dia (d) e para garantir que isso ocorra, multiplica-se a variável binária de decisão por um número grande (M) que, por sua vez, deve ser maior que o lado direito da equação. Este método garante que toda vez que o quantitativo de cirurgias em um dia e em uma sala for maior que 1, a variável de decisão receberá valor 1.

$$\sum_{d=5}^d MeDi_m^d \geq fMesem \quad \forall m, d \quad (6.11)$$

A equação 6.11 garante, para quaisquer 5 dias seguidos (semana), que todos os

residentes serão escalados em pelo menos  $fResem$  dias. Nesta equação, foi necessário definir um horizonte de tempo diferente do restante do modelo para impedir a soma, por exemplo, de 3 *slots* de dia a partir do dia 248 (no caso, o *solver* tentaria somar até dia 251 o que seria maior que o horizonte de planejamento), ou seja, ela é criada para todos o período excluindo os últimos  $fMesem$  dias (no caso, 250-  $fMesem$ )

$$\delta_{m,c,p} \geq AcMeCi_{m,c,p} - AcMeCi_{m',c,p} \quad \forall m, m', c, p \quad (6.12)$$

A equação 6.12 “contabiliza” quantas cirurgias (c) de porte (p) um médico de mesma classe realizou a mais que o outro. Esta equação é criada quando  $paMeMe_{m,m'} = 1$ , ou seja, apenas comparar médicos no mesmo ano de residência.

$$\sum_m AcMeCi_{m,c,p} * paMeRe_{m,r} \geq AcReCi_{r,c,p} \quad \forall r, c, p \quad (6.13)$$

A restrição 6.13 relaciona o quantitativo de cirurgia do modelo de dimensionamento agregado com o quantitativo de cirurgias a ser realizado para grupo de residente (r).

### 6.3. RESULTADOS DO MODELO OPERACIONAL

Os resultados do modelo acima e a comparação deles aos critérios estabelecidos pelo preceptor da cirurgia vascular e legislação vigente são apresentados nas Tabelas 18 e 19. Nelas, as duas primeiras colunas identificam os tipos e portes das cirurgias. As colunas 3,4 e 5; 6, 7 e 8; 9, 10 e 11 mostram quantas cirurgias cada médico pode realizar ao longo do ano e quanto o preceptor determinou como quantitativo mínimo. Na coluna 12 são apresentados os quantitativos mínimos de cirurgias conforme definido pela Resolução CNRM nº 02 /2006.

| Variável                                 | $AcMeCi_{m,c,p}$ | Tipo de residente (r)                                                                                  |     |           |     |     |           |     |     |           |                   |
|------------------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----------|-----|-----|-----------|-----|-----|-----------|-------------------|
| Portes e cirurgias                       |                  | Quantidade de cirurgias por médico versus quantitativo mínimo de cirurgias estabelecido pelo preceptor |     |           |     |     |           |     |     |           | Mínimo legislação |
| porte                                    | cirurgia         | M1                                                                                                     | M2  | Mínimo R1 | M3  | M4  | Mínimo R2 | M5  | M6  | Mínimo R3 |                   |
| Pequeno                                  | Varizes e Veia   | 10                                                                                                     | 10  | 10        |     |     |           |     |     |           | -                 |
|                                          | Aorta            |                                                                                                        |     |           |     |     |           |     |     |           |                   |
|                                          | Fistula          | 20                                                                                                     | 20  | 20        |     |     |           | 30  | 30  |           |                   |
|                                          | Femoral          | 5                                                                                                      | 5   | 5         | 15  | 15  | 15        |     |     |           |                   |
|                                          | Carótida         |                                                                                                        |     |           |     |     |           |     |     |           |                   |
|                                          | Amputação        | 10                                                                                                     | 10  | 10        | 20  | 20  |           |     |     |           |                   |
|                                          | Endovascular     |                                                                                                        |     |           | 10  | 10  | 10        | 15  | 15  | 15        |                   |
|                                          | Subtotal         | 45                                                                                                     | 45  | 45        | 45  | 45  | 25        | 45  | 45  | 15        | 45                |
| Médio                                    | Varizes e Veia   | 10                                                                                                     | 10  | 10        | 5   | 5   | 5         | 8   | 9   |           | -                 |
|                                          | Aorta            |                                                                                                        |     |           |     |     |           |     |     |           |                   |
|                                          | Fistula          | 20                                                                                                     | 20  | 20        |     |     |           | 7   | 6   |           |                   |
|                                          | Femoral          | 10                                                                                                     | 10  | 10        | 15  | 15  | 15        | 15  | 15  | 15        |                   |
|                                          | Carótida         |                                                                                                        |     |           | 15  | 15  | 15        | 10  | 10  | 10        |                   |
|                                          | Amputação        | 20                                                                                                     | 20  | 10        | 15  | 15  |           |     |     |           |                   |
|                                          | Endovascular     |                                                                                                        |     |           | 10  | 10  | 10        | 20  | 20  | 20        |                   |
|                                          | Subtotal         | 60                                                                                                     | 60  | 50        | 60  | 60  | 45        | 60  | 60  | 45        | 60                |
| Grande                                   | Varizes e Veia   | 5                                                                                                      | 5   | 5         | 5   | 5   | 5         |     | 1   |           | -                 |
|                                          | Aorta            |                                                                                                        |     |           | 15  | 15  | 15        | 5   | 5   | 5         |                   |
|                                          | Fistula          | 10                                                                                                     | 10  | 5         | 5   | 5   | 5         | 15  | 14  |           |                   |
|                                          | Femoral          | 5                                                                                                      | 5   | 5         | 10  | 10  | 10        | 5   | 5   | 5         |                   |
|                                          | Carótida         |                                                                                                        |     |           | 5   | 5   | 5         | 10  | 10  | 10        |                   |
|                                          | Amputação        | 25                                                                                                     | 25  | 5         | 5   | 5   | 5         |     |     |           |                   |
|                                          | Endovascular     |                                                                                                        |     |           |     |     |           | 10  | 10  | 10        |                   |
|                                          | Subtotal         | 45                                                                                                     | 45  | 20        | 45  | 45  | 45        | 45  | 45  | 30        | 45                |
| Quantidade total de cirurgias por médico |                  | 150                                                                                                    | 150 | 150       | 150 | 150 | 150       | 150 | 150 | 150       | 150               |

Tabela 18 – distribuição equilibrada da quantidade de por médico, por cirurgia e por porte.

| Variável                                 | $AcMeCi_{m,c,p}$ | Tipo de residente (r)                                                                                  |    |                  |    |    |                  |    |    |                  | Míni<br>mo<br>legisla<br>ção |
|------------------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|------------------|----|----|------------------|----|----|------------------|------------------------------|
| Cirurgias arteriais                      |                  | Quantidade de cirurgias por médico versos quantitativo mínimo de cirurgias estabelecido pelo preceptor |    |                  |    |    |                  |    |    |                  |                              |
| porte                                    | cirurgia         | M1                                                                                                     | M2 | Míni<br>mo<br>R1 | M3 | M4 | Míni<br>mo<br>R2 | M5 | M6 | Míni<br>mo<br>R3 |                              |
| Pequeno                                  | Aorta            |                                                                                                        |    |                  |    |    |                  |    |    |                  | -                            |
|                                          | Fistula          | 20                                                                                                     | 20 | 20               |    |    |                  | 30 | 30 |                  |                              |
|                                          | Femoral          | 5                                                                                                      | 5  | 5                | 15 | 15 | 15               |    |    |                  |                              |
|                                          | Carótida         |                                                                                                        |    |                  |    |    |                  |    |    |                  |                              |
|                                          | Subtotal         | 25                                                                                                     | 25 | 25               | 15 | 15 | 15               | 30 | 30 |                  | 15                           |
| Médio                                    | Aorta            |                                                                                                        |    |                  |    |    |                  |    |    |                  | -                            |
|                                          | Fistula          | 20                                                                                                     | 20 | 20               |    |    |                  | 7  | 6  |                  |                              |
|                                          | Femoral          | 10                                                                                                     | 10 | 10               | 15 | 15 | 15               | 15 | 15 | 15               |                              |
|                                          | Carótida         |                                                                                                        |    |                  | 15 | 15 | 15               | 10 | 10 | 10               |                              |
|                                          | Subtotal         | 30                                                                                                     | 30 | 30               | 30 | 30 | 30               | 32 | 31 | 25               | 20                           |
| Grande                                   | Aorta            |                                                                                                        |    |                  | 15 | 15 | 15               | 5  | 5  | 5                | -                            |
|                                          | Fistula          | 10                                                                                                     | 10 | 5                | 5  | 5  | 5                | 15 | 14 |                  |                              |
|                                          | Femoral          | 5                                                                                                      | 5  | 5                | 10 | 10 | 10               | 5  | 5  | 5                |                              |
|                                          | Carótida         |                                                                                                        |    |                  | 5  | 5  | 5                | 10 | 10 | 10               |                              |
|                                          | Subtotal         | 15                                                                                                     | 15 | 10               | 35 | 35 | 35               | 35 | 34 | 20               | 15                           |
| Quantidade total de cirurgias por médico |                  | 70                                                                                                     | 70 | 65               | 80 | 80 | 80               | 97 | 95 | 45               | 50                           |

Tabela 19 – distribuição equilibrada da quantidade de por médico, por cirurgia arterial e por porte.

A solução ótima do modelo de minimização foi obtida em 4,43 segundos com pico de memória de 12,0 Mb com valor 4, ou seja, não é possível equilibrar a carga de trabalho entre os cirurgiões do mesmo ano de residência para todos os casos. Entretanto, este desequilíbrio (diferença do quantitativo de cirurgias realizados entre o cirurgião e seu par) foram observados em apenas 4 casos dentro de um *mix* de 900 cirurgias.

A partir dos resultados da tabela 18 observa-se que o “vão” entre o quantitativo mínimo estabelecido pelo preceptor e o quantitativo mínimo estabelecido pelo regulatório é completo em grande parte pelas cirurgias de amputação e, em menor proporção, por cirurgias de fístula. Isto se deve à curta duração de ambas as cirurgias. No caso, a cirurgia de amputação tem a menor duração quando comparada às demais cirurgias de mesmo porte o que também é verdade no caso da cirurgia de fístula, mas apenas no subconjunto de cirurgias arteriais.

Dessa forma, esta seção responde ao segundo objetivo proposto na seção 1.2, ou seja,

como equilibrar a quantidade de cirurgias realizadas por residentes de mesma classe atendendo tanto os critérios estabelecidos pela legislação vigente quanto aqueles estabelecidos pelo preceptor da cirurgia vascular.

## 7. CONCLUSÕES

Este Capítulo é dividido em 2 seções onde são apresentadas a síntese da pesquisa; síntese dos resultados; considerações finais e limitação da pesquisa; proposição de trabalhos futuros.

### 7.1. SÍNTESE DA PESQUISA

A presente pesquisa propôs um modelo de dimensionamento de recursos para atendimento dos critérios mínimos de formação exigidos pela legislação vigente e pelo cirurgião chefe do serviço de cirurgia vascular do HUPE. Assim, além de planificar o planejamento e programação das cirurgias eletivas deste serviço de forma eficiente (questão de pesquisa), foi possível avaliar a pertinência de regras de negócio atuais do centro cirúrgico e regras de negócio internas ao serviço, respondendo, em 2 níveis, quando cada residente deveria estar alocado em que sala com quais recursos e quantas vezes ele deveria ser escalado para realizar alguma cirurgia no horizonte semanal.

Tratado no Capítulo 5, a presente pesquisa busca soluções eficientes para o planejamento de cirurgias eletivas a nível tático (*Master Surgical Schedule*). Como resultado, obteve-se para diferentes ordens de priorização de recursos que para a realização do quantitativo mínimo de cirurgias necessários para a aprovação no programa de residência é necessário, anualmente, um intervalo de 273 a 347 salas de cirurgia, de 224 a 279 salas com anestesistas e de 200 a 310 salas com equipamento.

Garantido um planejamento de cirurgias viável e eficiente que, para cada cenário, envolveram diferentes lógicas de priorização de recursos, a utilização das salas de cirurgias variou de 85,6% a 67,6%. Assim, distribuídas as cirurgias e os recursos necessários à realização da mesma, buscou-se, no Capítulo 6, a nível operacional



(*Surgical Case Assignment Problem*), equilibrar as cargas de trabalho entre cirurgiões do mesmo ano de residência.

Ainda que não tenha sido possível atingir este equilíbrio para todos os casos, a diferença do quantitativo de cirurgias realizados entre o cirurgião e seu par foram observados em apenas 4 casos em um *mix* de 900 cirurgias. Observou-se também que há um “vão” entre o quantitativo mínimo estabelecido pelo preceptor e pelo regulatório. Com efeito, parte do *case mix* fica “livre” e, na busca pela eficiência, o modelo proposto aloca cirurgias de menor duração para completar o quantitativo mínimo de 150 cirurgias por residente por ano.

## 7.2. LIMITAÇÕES DA PESQUISA E PROPOSIÇÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Do ponto de vista acadêmico o modelo proposto assume como parâmetros valores médios de duração de cirurgias que foram obtidos a partir de entrevistas. Reforça-se a importância da construção de soluções em parceria com os profissionais de saúde. Ainda que nos modelos propostos não tenham sido considerados como restrições a disponibilidade dos *staffs*, suas preferências foram consideradas ao dimensionar a quantidade de recursos necessários para que cada residente realize um quantitativo mínimo de cirurgias por eles definidos e sejam escalados para realizar cirurgias com alguma frequência no horizonte semanal.

Em relação ao campo, os modelos de *scheduling* se restringiram ao serviço de cirurgia vascular em função da indisponibilidade de dados dos demais serviços.

Uma contribuição importante desta pesquisa foi propor um modelo de otimização com propósito de aumentar a eficiência do planejamento de cirurgias eletivas garantindo que cada cirurgião cumprisse um *case mix* que, baseado em critérios mínimos estipulados pela chefia de um serviço cirúrgico e pelos instrumentos normativos vigentes, garantem a qualidade da sua formação.

A nível de trabalhos futuros recomenda-se a incorporação de restrições que levem em consideração não só a disponibilidade do *staff*, mas também critérios relacionados às preferências sociais (ROLLAND & RIANE, 2011), dentre as quais pode-se citar: não

realização de cirurgias de grande porte às sextas-feiras, regras de escalação no horizonte semanal mais específicas (o cirurgião deveria ser escalado somente segundas, quartas e sextas feiras ou somente terças e quintas feiras somente na parte da manhã ou somente na parte da tarde). Por fim, sugere-se a replicação deste modelo para os demais serviços cirúrgicos no intuito de estabelecer de forma objetiva limites inferiores otimizados condizentes com as especificações da legislação vigente para a confecção do *Master Surgical Schedule* (MSS).

Em relação aos parâmetros do modelo, sugere-se abordagens alternativas ao modelo determinístico. Seja pela dificuldade de obtenção de dados e pela pouca fidedignidade dos dados disponíveis (notória na área da saúde) é possível que os dados utilizados no processo de modelagem estejam sujeitos a incertezas quanto a erros de medição, previsão, entre outros fatores.

Uma possível extensão de uma pesquisa deste tipo seria integrar o planejamento do centro cirúrgico aos recursos da central de material e esterilização. No caso, a central de material e esterilização não teria apenas um papel de estoque, mas sim uma solução conjunta de planejamento de capacidade (centro cirúrgico) com plano de suprimento (materiais esterilizados) que viabilizaria alcance, em termos de produção cirúrgica, dos objetivos estratégicos traçados pelo hospital.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELRASOL, Z.; HARRAZ, N.; ELTAWIL, A. Operating room scheduling problems: A survey and a proposed solution framework. In: **Transactions on Engineering Technologies**. Springer Netherlands, 2014. p. 717-731.

AGNETIS, A., COPPI, A., CORSINI, M., DELLINO, G., MELONI, C., & PRANZO, M. A decomposition approach for the combined master surgical schedule and surgical case assignment problems. **Health care management science**, v. 17, n. 1, p. 49-59, 2014.

ALMEIDA, T.R.R. Perspectivas de sobrevivência do hospital. **Revista Paulista de Hospitais**, São Paulo, n.5/6, p.104-113, maio/jun. 1983.

BARBAGALLO, S., CORRADI, L., DE GOYET, J. D. V., IANNUCCI, M., PORRO, I., ROSSO, N., TANFANI, E. & TESTI, A. Optimization and planning of operating theatre activities: an original definition of pathways and process modeling. **BMC medical informatics and decision making**, v. 15, n. 1, p. 1, 2015.

BATUN, S.; BEGEN, M. A. Optimization in healthcare delivery modeling: Methods and applications. In: **Handbook of Healthcare Operations Management**. Springer New York, 2013. p. 75-119.

BELIËN, J.; DEMEULEMEESTER, E.; CARDOEN, B. A decision support system for cyclic master surgery scheduling with multiple objectives. **Journal of scheduling**, v. 12, n. 2, p. 147-161, 2009.

BRASIL. Constituição. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado, 1988.

BRASIL. Ministério da Educação. Resolução CNRM número 02 /2006, de 17 de maio de 2006. Dispõe sobre requisitos mínimos dos Programas de Residência Médica e dá outras providências. 2006

BENTO, A. Como fazer uma revisão da literatura: Considerações teóricas e práticas. **Revista JA (Associação Acadêmica da Universidade da Madeira)**, no 65, ano VII (pp. 42-44). ISSN: 1647-8975. 2012.

BOUGUERRA, A., SAUVEY, C., & SAUER, N. Mathematical model for maximizing operating rooms utilization. **IFAC-PapersOnLine**, v. 48, n. 3, p. 118-123, 2015.

CARDOEN, B., DEMEULEMEESTER, E., BELIËN, J. Operating room planning and scheduling: A classification scheme. **International Journal of Health Management and Information**, v. 1, n. 1, p. 71-83, 2010.

CASTRO, R.M. **Gestão Econômico-Financeira nos Hospitais Filantrópicos. Organização e Financiamento**. Dissertação (Mestrado Profissional em Sistemas de Gestão). Niterói, Universidade Federal Fluminense, 2002.

CHASE, Richard B.; AQUILANO, Nicholas J.; JACOBS, F. Robert. **Operations management for competitive advantage**. McGraw-Hill Companies, 2004.

DA ROCHA, Marcius Hollanda Pereira. A gestão das organizações hospitalares e suas complexidades. **VII congresso Nacional de Excelência em Gestão**. 2011

DAY, R.; GARFINKEL, R.; THOMPSON, S. Integrated block sharing: A win-win strategy for hospitals and surgeons. **Manufacturing & Service Operations Management**, v. 14, n. 4, p. 567-583, 2012.

DE NEGRI FILHO, A., BARBOSA, Z., YONEKURA, T. Dimensionamento de número de leitos e tipologia hospitalar: o desafio de fazer as perguntas certas e de construir suas respostas. 2012.

DEMEULEMEESTER, E., BELIËN, J., CARDOEN, B., & SAMUDRA, M. Operating room planning and scheduling. In: **Handbook of healthcare operations management**. Springer New York, 2013. p. 121-152.

DENTON, B.; VIAPIANO, J.; VOGL, A. Optimization of surgery sequencing and scheduling decisions under uncertainty. **Health care management science**, v. 10, n. 1, p. 13-24, 2007.

DEVI, S. P.; RAO, K. S.; SANGEETHA, S. S. Prediction of surgery times and scheduling of operation theaters in ophthalmology department. **Journal of medical systems**, v. 36, n. 2, p. 415-430, 2012.

DIOS, M., MOLINA-PARIENTE, J.M., FERNANDEZ-VIAGAS, V., ANDRADE-PINEDA, J.L., FRAMINAN, J.M. A Decision Support System for Operating Room scheduling. **Computers & Industrial Engineering**, v. 88, p. 430-443, 2015.

FERNANDES, A. **Um hospital Particular no Brasil**. São Paulo: A. Fernandes, 2002.

FERRARI, A. T. **Metodologia da Pesquisa científica**. São Paulo: McGraw-Hill, 1982.

FORGIA, G.M.L. & COUTTOLENC, B.F. **Desempenho hospitalar no Brasil: em busca da excelência**. São Paulo: Singular, 2009.

FREEMAN, N. K.; MELOUK, S. H.; MITTENTHAL, J. A Scenario-Based Approach for Operating Theater Scheduling Under Uncertainty. **Manufacturing & Service Operations Management**, v. 18, n. 2, p. 245-261, 2015.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GUERRIERO, F., GUIDO, R. Operational research in the management of the operating theatre: a survey. **Health care management science**, v. 14, n. 1, p. 89-114, 2011.

HANS, E. W.; VANBERKEL, P. T. Operating theatre planning and scheduling. In: **Handbook of healthcare system Scheduling**. Springer US, 2012. p. 105-130.

HE, B., DEXTER, F., MACARIO, A., & ZENIOS, S. The timing of staffing decisions in hospital operating rooms: incorporating workload heterogeneity into the newsvendor problem. **Manufacturing & Service Operations Management**, v. 14, n. 1, p. 99-114, 2012.

HOGA, L. A. K. A dimensão subjetiva do profissional na humanização da assistência à saúde: uma reflexão. **Revista da Escola de Enfermagem da USP**, v. 38, n. 1, p. 13-20, 2004.

HOPP, W. J.; LOVEJOY, W.S. Hospital operations. FT Press, Upper Saddle River. 2012.

HULSHOF, P. J., KORTBEEK, N., BOUCHERIE, R. J., HANS, E. W., & BAKKER, P. J. Taxonomic classification of planning decisions in health care: a structured review of the state of the art in OR/MS. **Health systems**, v. 1, n. 2, p. 129-175, 2012.

JIMÉNEZA, M.; RIVASB, J. A.; ZUBIAC, M. Un modelo de programación por metas para el plan de producción de un hospital del servicio vasco de salud. **Cuadernos del CIMBAGE**, n. 7, p. 1-24, 2004.

LABOURDETTE, A. *Economie de La santé*. Paris, PUF, 1988.

LAKATOS, E. M., MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 3. ed. ver. e ampl. São Paulo: Atlas, 1991.

LIANG, F.; GUO, Y.; FUNG, R. YK. Simulation-based optimization for surgery scheduling in operation theatre management using response surface method. **Journal of medical systems**, v. 39, n. 11, p. 1-11, 2015.

LITVAK E. editor. **Managing patient flow in hospitals: strategies and solutions**. 2nd ed. Oakbrook Terrace (IL): Illinois Joint Commission Resources; 2009.

JEANG, A.; CHIANG, A. J. Economic and quality scheduling for effective utilization of operating rooms. **Journal of medical systems**, v. 36, n. 3, p. 1205-1222, 2012.

M'HALLAH, R.; AL-ROOMI, A. H. The planning and scheduling of operating rooms: A simulation approach. **Computers & Industrial Engineering**, v. 78, p. 235-248, 2014.

MAGERLEIN, James M.; MARTIN, James B. Surgical demand scheduling: a review. **Health services research**, v. 13, n. 4, p. 418, 1978.

MALAGON-LODONO, G. Introdução. In: MALAGON-LODONO, G.; MORERA, R.G.; LAVERDE, G.P. **Administração Hospitalar**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000.

MALIK, M. M.; KHAN, M.; ABDALLAH, S. Aggregate capacity planning for elective surgeries: A bi-objective optimization approach to balance patients waiting with healthcare costs. **Operations Research for Health Care**, v. 7, p. 3-13, 2015.

MAY, J. H., SPANGLER, W. E., STRUM, D. P., & VARGAS, L. G. The surgical scheduling problem: Current research and future opportunities. **Production and Operations Management**, v. 20, n. 3, p. 392-405, 2011.

MENDES, C. D. A., MARTINS, A. D. A., TEIVELIS, M. P., KUZNIEC, S., & WOLOSKEK, N. Public private partnership in vascular surgery. **Einstein (Sao Paulo)**, v. 12, n. 3, p. 342-346, 2014.

MIGUEL, P. A. C. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Revista Produção**, v. 17, n. 1, p. 216-229, 2007.

MORI, Valéria Deusdará; REY, Fernando González. A saúde como processo subjetivo: uma reflexão necessária. **Psicologia: teoria e prática**, v. 14, n. 3, p. 140-152, 2012.

NETO, F.C. B.; BARBOSA, P. R.; SANTOS, I. S. Atenção Hospitalar: evolução histórica e tendências. In: GIOVANELLA, Lígia et al. Políticas e sistema de saúde no Brasil. FIOCRUZ, 2008.

OECD. **Fiscal Sustainability of Health Systems: Bridging Health and Finance Perspectives**, OECD Publishing, Paris. 2015.

OECD (2017), Health spending (indicator). doi: 10.1787/8643de7e-en (Accessed on 09 January 2017)

PAUL, J. A.; JOTSHI, A. Efficient operating room redesign through process improvement and optimal management of scheduled and emergent surgeries. **International Journal of Mathematics in Operational Research**, v. 5, n. 3, p. 317-344, 2013.

PAVIA, L. **The era of knowledge in health care**. Health Care Strategic Management, Chicago, vol. 19, n. 2, p.12-13, Feb. 2001.

PEDROSO, M.; MALIK, A. As quatro dimensões competitivas da saúde. 2011.

PERSSON, M.; PERSSON, J. A. Optimization modelling of hospital operating room planning: Analyzing strategies and problem settings. In: **Operational Research for Health Policy: Making Better Decisions: Proceedings of the 31st Annual Conference of the European Working Group on Operational Research Applied to Health Services**. Peter Lang, 2007. p. 137.

PETERSEN, Charles G.; AASE, Gerald R.; HEISER, Daniel R. Journal ranking analyses of operations management research. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 31, n. 4, p. 405-422, 2011.

POSSARI, J.F. Centro Cirúrgico: Planejamento, Organização e Gestão. 2a edição. São Paulo: Iátria,

2004.

PRZASNYSKI, Z. H. Operating room scheduling: A literature review. **AORN journal**, v. 44, n. 1, p. 67-82, 1986.

PULIDO, R., AGUIRRE, A. M., ORTEGA-MIER, M., GARCÍA-SÁNCHEZ, Á., & MÉNDEZ, C. A. Managing daily surgery schedules in a teaching hospital: a mixed-integer optimization approach. **BMC health services research**, v. 14, n. 1, p. 464, 2014.

RAIS, A.; VIANA, A. Operations research in healthcare: a survey. **International transactions in operational research**, v. 18, n. 1, p. 1-31, 2011.

ROLAND, Benoit; RIANE, Fouad. Integrating surgeons' preferences in the operating theatre planning. **European Journal of Industrial Engineering**, v. 5, n. 2, p. 232-250, 2011.

SAADOULI, H., JERBI, B., DAMMAK, A., MASMOUDI, L., & BOUAZIZ, A. A stochastic optimization and simulation approach for scheduling operating rooms and recovery beds in an orthopedic surgery department. **Computers & Industrial Engineering**, v. 80, p. 72-79, 2015.

SAADOULI, H., Masmoudi, M., Jerbi, B., & Dammak, A. An optimization and Simulation approach for Operating Room scheduling under stochastic durations. In: **Control, Decision and Information Technologies (CoDIT), 2014 International Conference on**. IEEE, 2014. p. 257-262.

SENHORAS, E.M. A cultura na organização hospitalar e as políticas culturais de coordenação de comunicação e aprendizagem. **Revista Eletrônica de Comunicação & Inovação em Saúde**, FioCruz, Rio de Janeiro, vol. 1, n. 1, p. 45-55, 2007.

SPIEGEL, T., DAL FORNO, A. J., SEVERINO, M. R., NETO, H. C. A., JUNIOR, R. M., & LEITE, M. S. A. TÓPICOS EMERGENTES E DESAFIOS METODOLÓGICOS EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO: CASOS, EXPERIÊNCIAS E PROPOSIÇÕES-Volume VIII. 2016.

STEPANIAK, P. S., VAN DER VELDEN, R. A. C., VAN DE KLUNDERT, J., & WAGELMANS, A. P. M. Human and artificial scheduling system for operating rooms. In: **Handbook of Healthcare System Scheduling**. Springer US, 2012. p. 155-175.

SUFAHANI, S.; ISMAIL, Z. A Real Scheduling Problem for Hospital Operation Room. **Applied Mathematical Sciences**, v. 8, n. 114, p. 5681-5688, 2014.

THOMÉ, A. M. T., SCAVARDA, L. F., SCAVARDA, A. J. Conducting systematic literature review in operations management. **Production Planning & Control**, p. 1-13, 2016.

UCHIMURA, K. Y., BOSI, M. L. M. Quality and subjectivity in the evaluation of health services and programs. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 18, n. 6, p. 1561-1569, 2002.

VAHATALO, M., KALLIO, T. J. Organising health services through modularity. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 35, n. 6, p. 925-945, 2015.

VAN OOSTRUM, J. M. VAN HOUDENHOVEN, M., HURINK, J. L., HANS, E. W., WULLINK, G., & KAZEMIER, G.. A master surgical scheduling approach for cyclic scheduling in operating room departments. **OR spectrum**, v. 30, n. 2, p. 355-374, 2008.

VAN SAMBEEK, J. R. C., CORNELISSEN, F. A., BAKKER, P. J. M., & KRABBENDAM, J. J. Models as instruments for optimizing hospital processes: a systematic review. **International journal of health care quality assurance**, v. 23, n. 4, p. 356-377, 2010.

VELÁSQUEZ-RESTREPO, P. A.; RODRÍGUEZ-QUINTERO, A. K.; JAÉN-POSADA, J. S. Methodological approach to the planning and scheduling of operating rooms: a literature review. **Revista Gerencia y Políticas de Salud**, v. 12, n. 24, p. 249-266, 2013.

VILLARREAL, M. C.; KESKINOCAK, P. Staff planning for operating rooms with different surgical services lines. **Health care management science**, v. 19, n. 2, p. 144-169, 2016.

YAHIA, Z.; ELTAWIL, A. B.; HARRAZ, N. A. The operating room case-mix problem under uncertainty and nurses capacity constraints. **Health care management science**, v. 19, n. 4, p. 383-394, 2016.

XIANG, W.; YIN, J.; LIM, G. A short-term operating room surgery scheduling problem integrating multiple nurses roster constraints. **Artificial intelligence in medicine**, v. 63, n. 2, p. 91-106, 2015.

YIN, R.K. **Estudo de caso: Planejamento e Métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

WANG, Y.; TANG, J.; QU, G. A genetic algorithm for solving patient-priority-based elective surgery scheduling problem. **Life System Modeling and Intelligent Computing**, p. 297-304, 2010.

ZUCCHI, P.; DEL NERO, C.; MALIK, A. M. Gastos em saúde: os fatores que agem na demanda e na oferta dos serviços de saúde. **Saúde e Sociedade**, v. 9, n. 1/2, p. 127-50, 2000.

## **APÊNDICE A – RESULTADOS DOS CENÁRIOS DO MASTER SURGICAL SCHEDULE**

O quantitativo de cirurgias por porte e de salas por dia de cada cenário cuja síntese foi apresentada na Tabela 13 do Capítulo 5 são apresentados a seguir.

O primeiro gráfico de cada cenário mostra, ao longo do ano, quantas salas por dia foram necessárias para atender aos critérios mínimos de formação estipulados pela legislação vigente e pelo preceptor da cirurgia vascular.

O segundo gráfico de cada cenário mostra, ao longo do ano, quantas cirurgias (estratificadas por porte) foram realizadas por dia.



- Cenário 1:

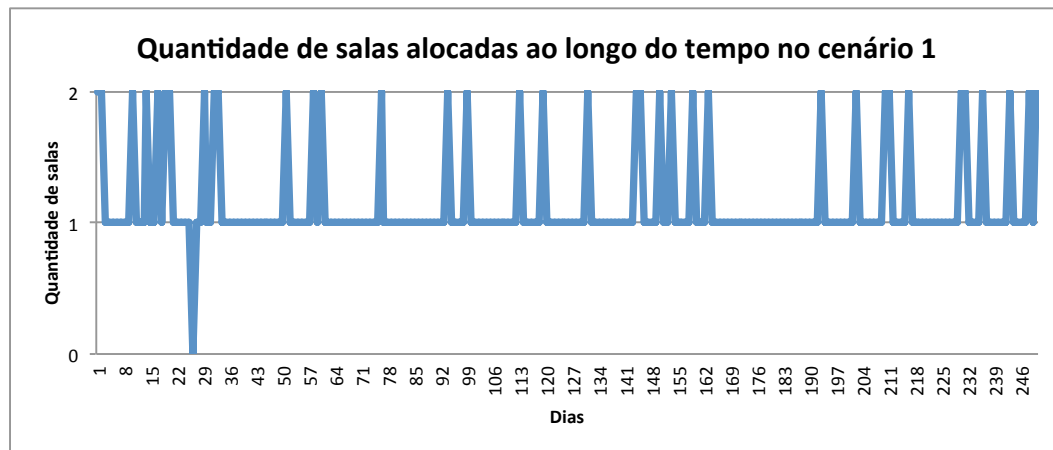


Figura 16 – Quantidade de salas alocadas ao longo do tempo no cenário 1.

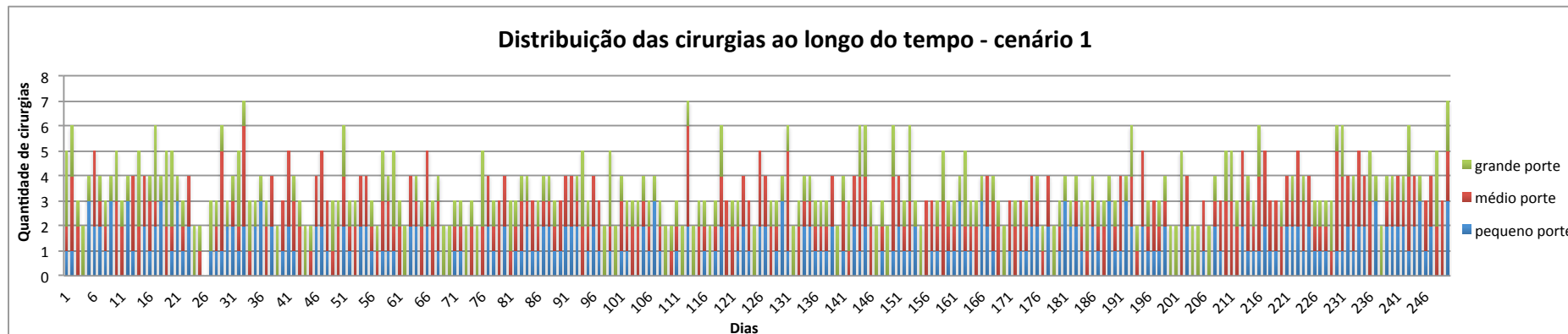


Figura 17 – Distribuição das cirurgias ao longo do tempo no cenário 1.

- Cenário 2:

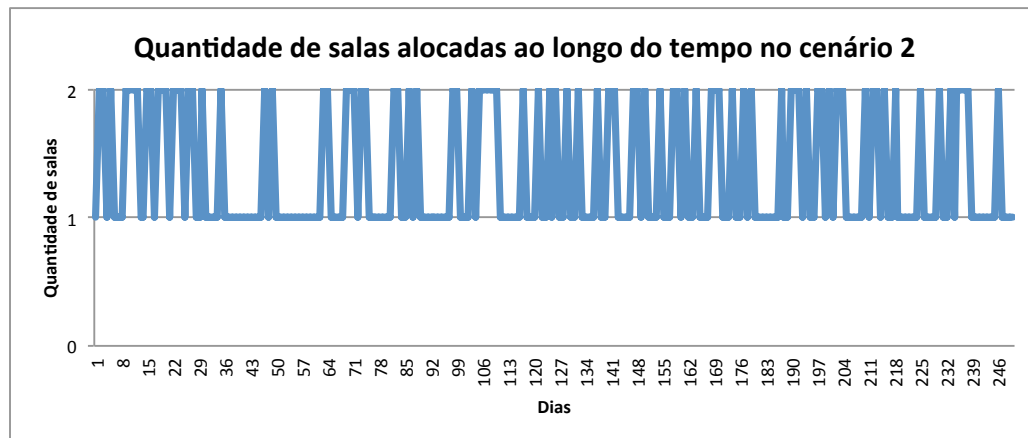


Figura 18 – Quantidade de salas alocadas ao longo do tempo no cenário 2.

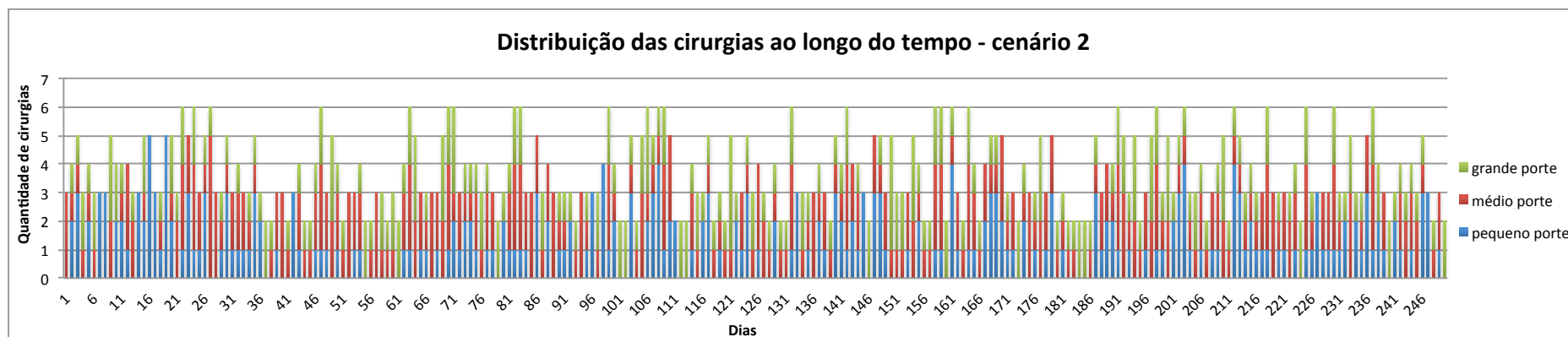


Figura 19 – Distribuição das cirurgias ao longo do tempo no cenário 2.

- Cenário 3:

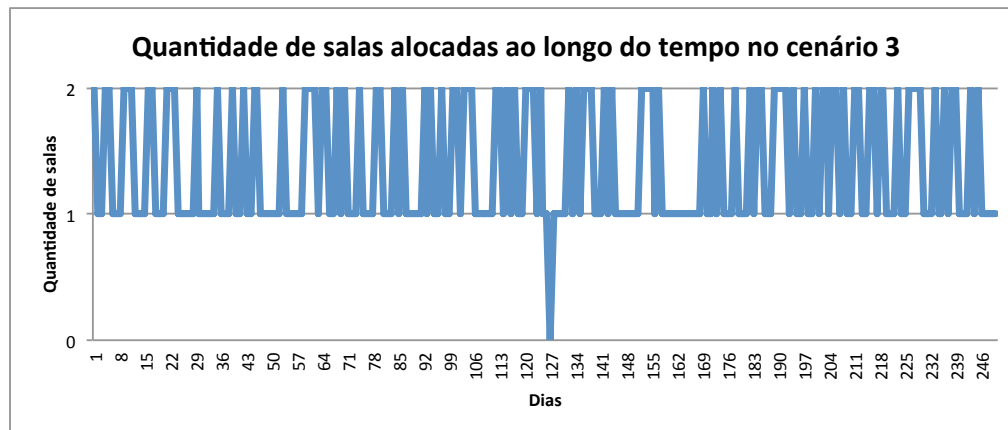


Figura 20 – Quantidade de salas alocadas ao longo do tempo no cenário 3.

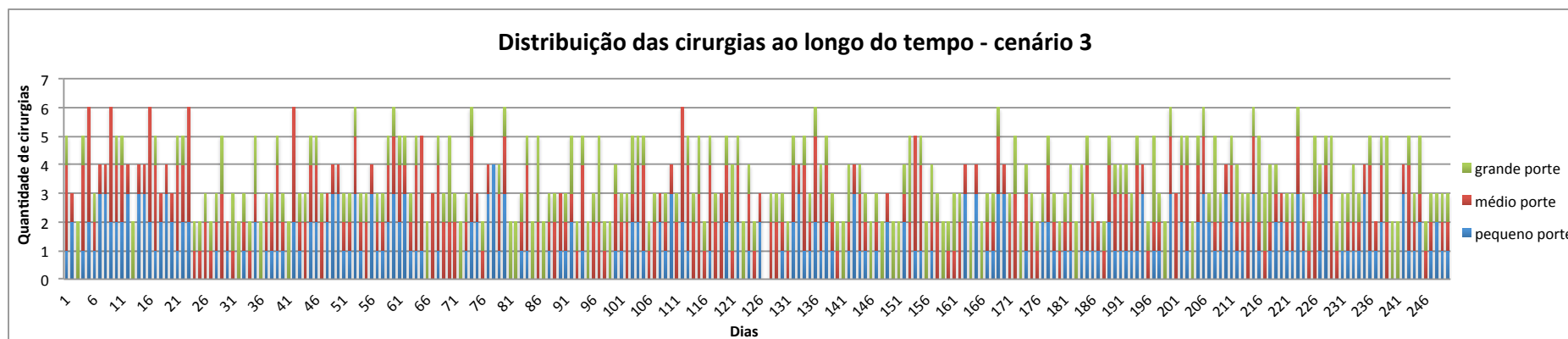


Figura 21 – Distribuição das cirurgias ao longo do tempo no cenário 3.

- Cenário 4:

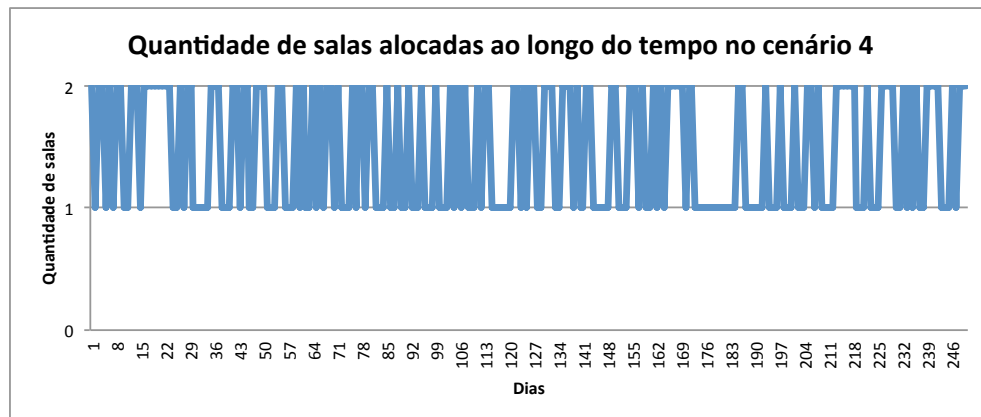


Figura 22 – Quantidade de salas alocadas ao longo do tempo no cenário 4.

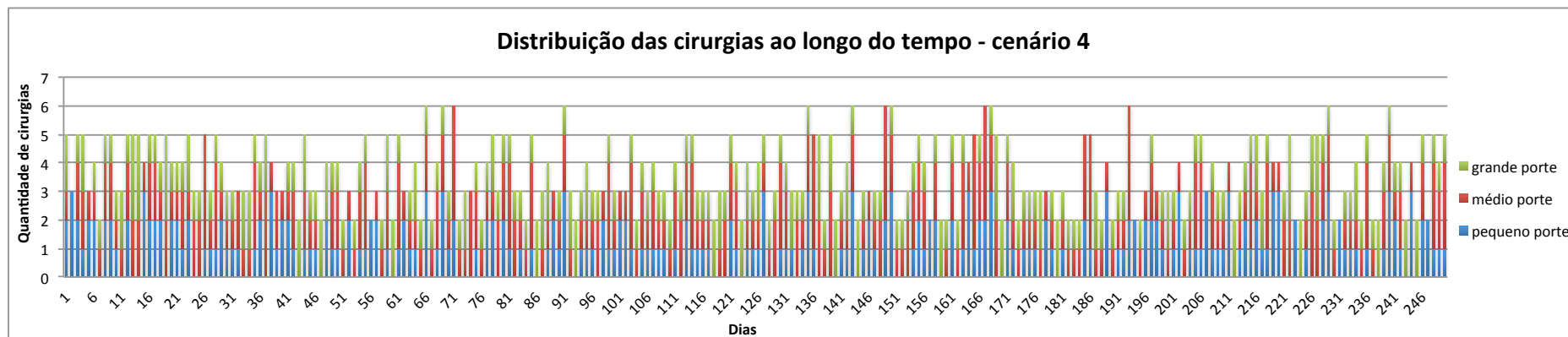


Figura 23 – Distribuição das cirurgias ao longo do tempo no cenário 4.

- Cenário 5:

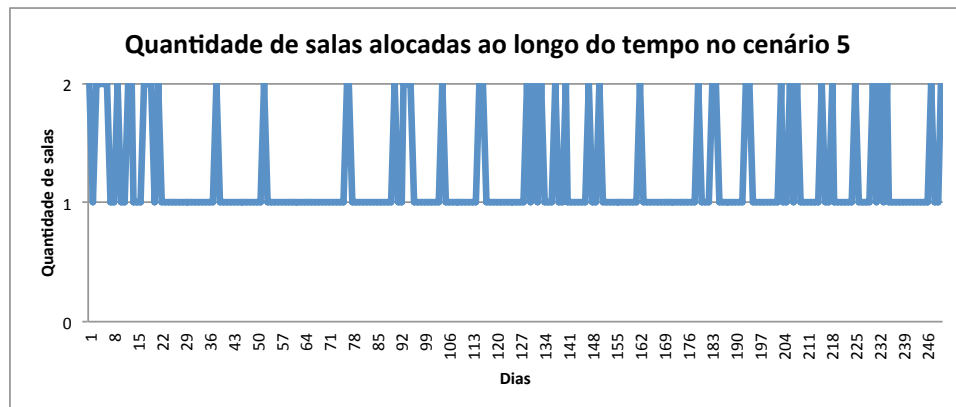


Figura 24 – Quantidade de salas alocadas ao longo do tempo no cenário 5.

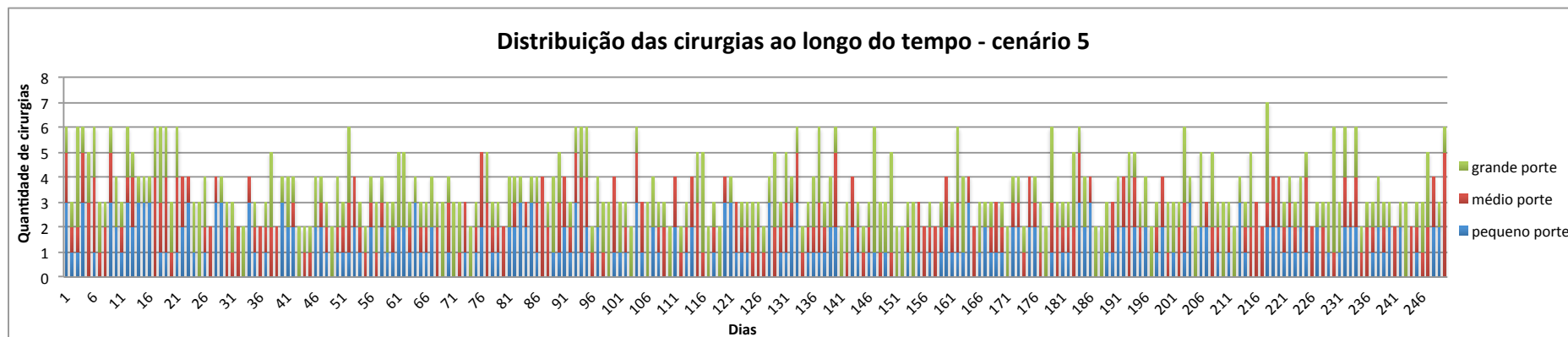


Figura 25 – Distribuição das cirurgias ao longo do tempo no cenário 5.

- Cenário 6:

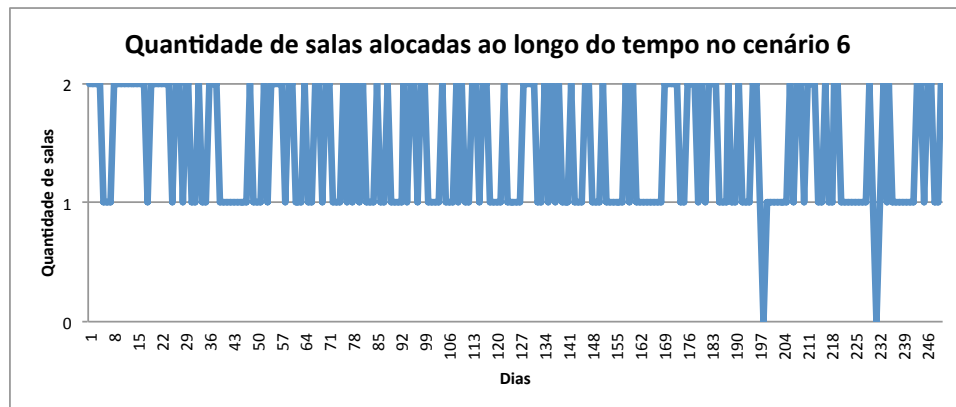


Figura 26 – Quantidade de salas alocadas ao longo do tempo no cenário 6.

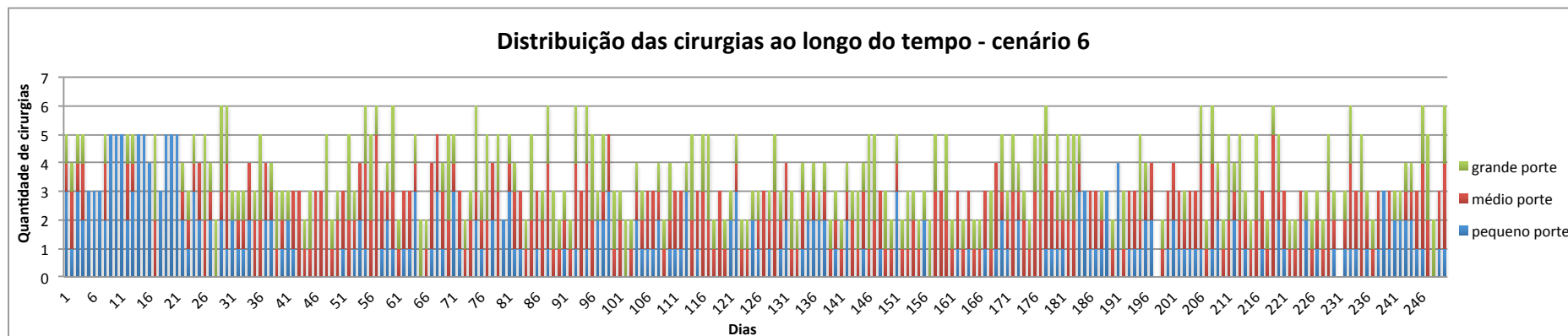


Figura 27 – Distribuição das cirurgias ao longo do tempo no cenário 6.

- Cenário 7:

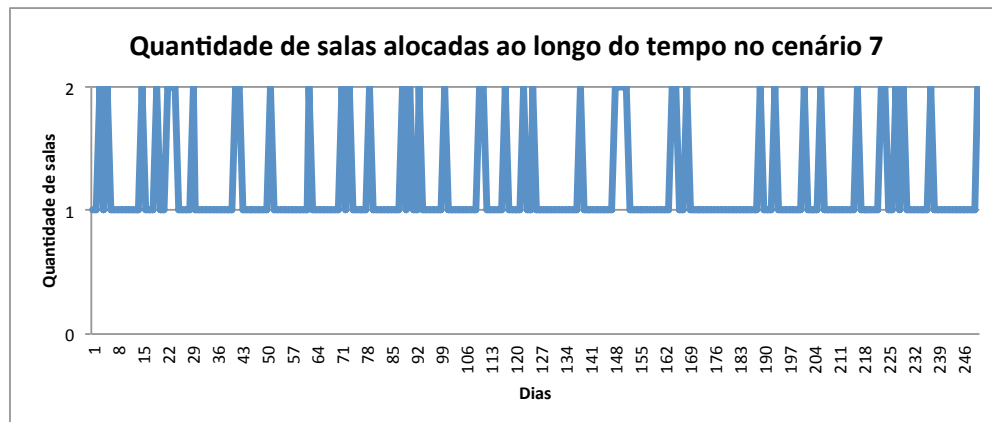


Figura 28 – Quantidade de salas alocadas ao longo do tempo no cenário 7.

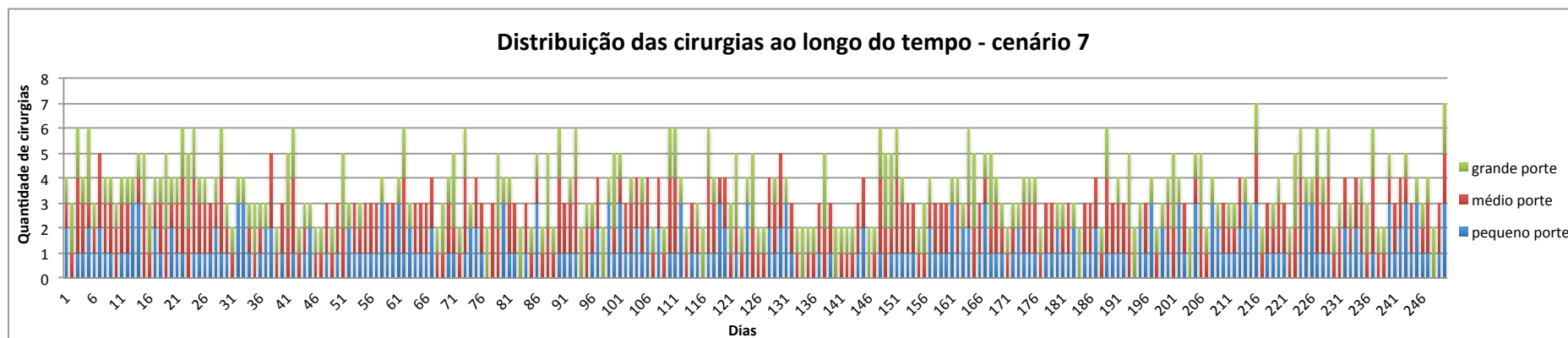


Figura 29 – Distribuição das cirurgias ao longo do tempo no cenário 7.

- Cenário 8:

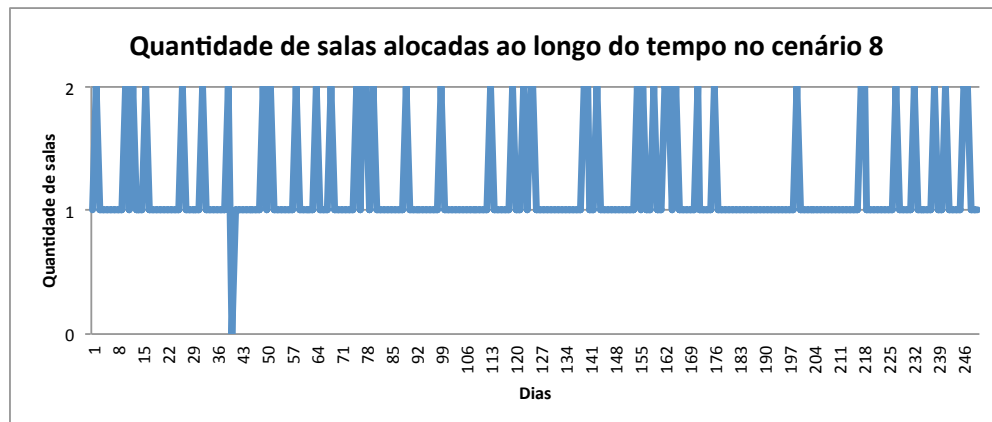


Figura 30 – Quantidade de salas alocadas ao longo do tempo no cenário 8.

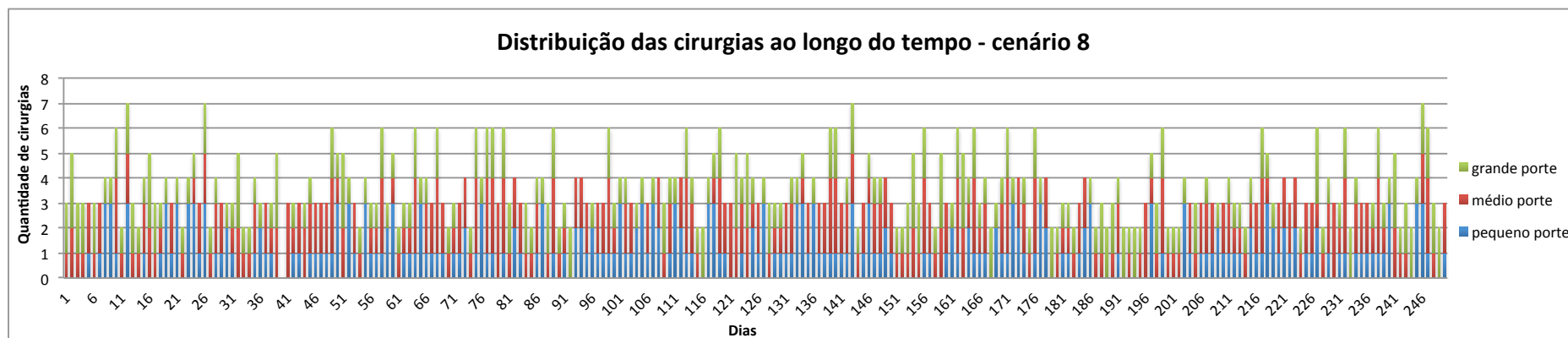


Figura 31 – Distribuição das cirurgias ao longo do tempo no cenário 8.



- Cenário 9:

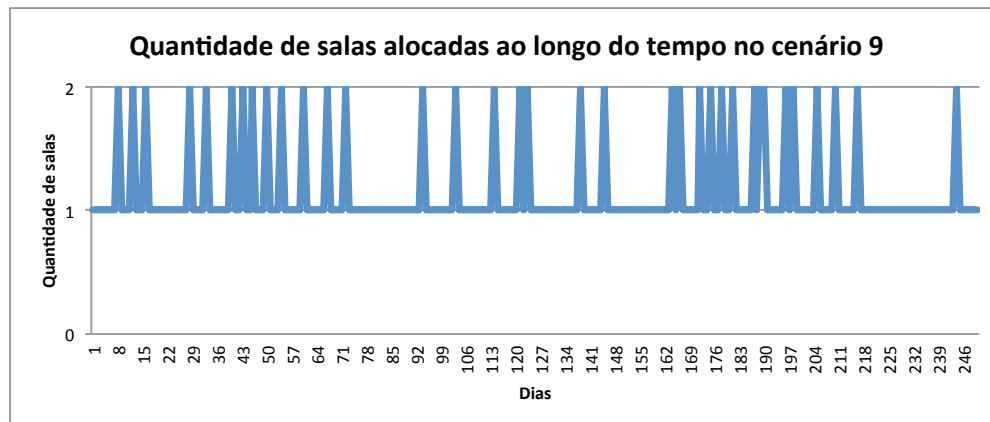


Figura 32 – Quantidade de salas alocadas ao longo do tempo no cenário 9.

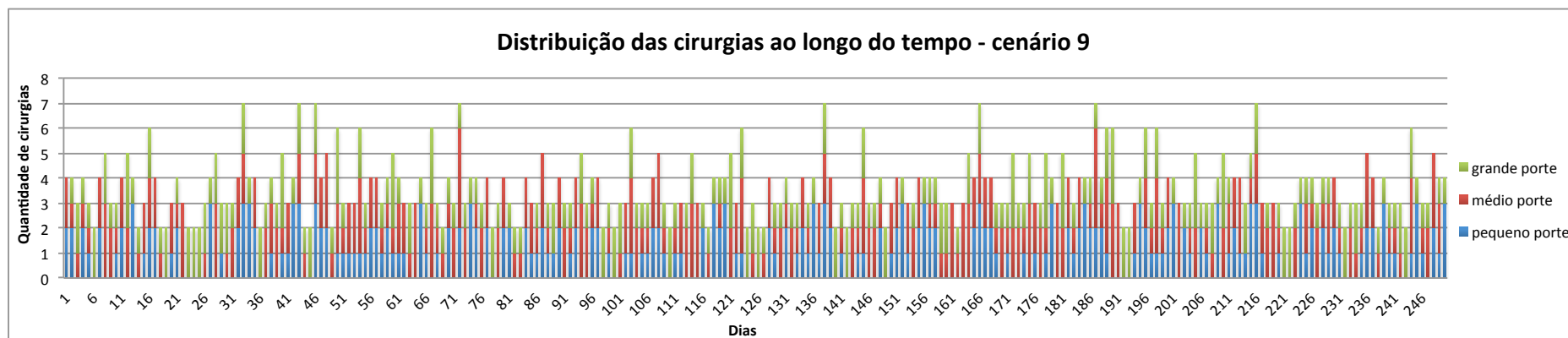


Figura 33 – Distribuição das cirurgias ao longo do tempo no cenário 9.

- Cenário 10:

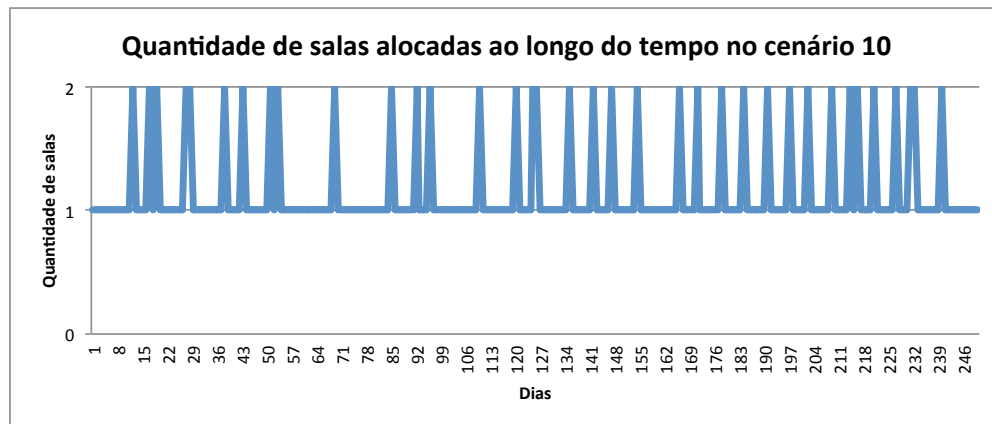


Figura 34 – Quantidade de salas alocadas ao longo do tempo no cenário 10.

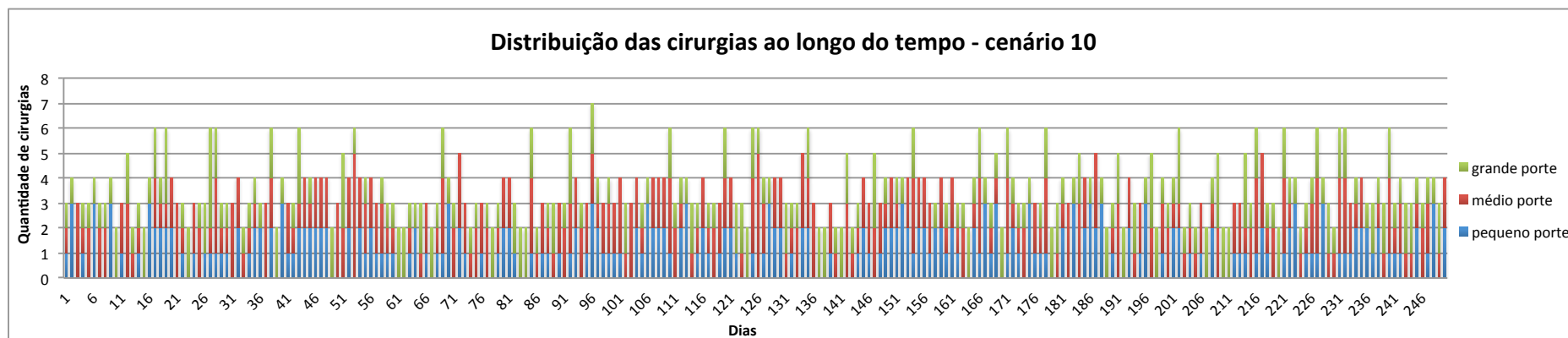


Figura 35 – Distribuição das cirurgias ao longo do tempo no cenário 10.