

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

TESE DE DOUTORADO

Guilherme Vazquez Etcheverry

**MÉTODOS OTIMIZANTES PARA
PLANEJAMENTO DE RECURSOS EM
BLOCO CIRÚRGICO HOSPITALAR**

Porto Alegre, 2017

Guilherme Vazquez Etcheverry

**MÉTODOS OTIMIZANTES PARA PLANEJAMENTO DE RECURSOS EM BLOCO
CIRÚRGICO HOSPITALAR**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito final à obtenção do título de Doutor em Engenharia, na área de concentração em Sistemas de Produção.

Orientador: Professor Michel J. Anzanello,
Ph.D.

Porto Alegre, 2017

Guilherme Vazquez Etcheverry

**MÉTODOS OTIMIZANTES PARA PLANEJAMENTO DE RECURSOS EM BLOCO
CIRÚRGICO HOSPITALAR**

Esta tese foi julgada adequada para a obtenção do título de Doutor em Engenharia e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Professor Michel José Anzanello, *Ph.D.*

Orientador PPGEP/UFRGS

Professor Flávio Sanson Fogliatto, *Ph.D.*

Coordenador PPGEP/UFRGS

Banca Examinadora:

Professor Flávio Sanson Fogliatto, *Ph.D.* (PPGEP/UFRGS)

M.D. Jeruza Lavanholi Neyeloff, *Ph.D.* (HCPA/UFRGS)

Professor Marcelo Farenzena, Dr. (PPGEQ/UFRGS)

RESUMO

Esta tese apresenta abordagens apoiadas em métodos de otimização para solucionar problemas relacionados ao planejamento de recursos físicos de um bloco cirúrgico (BC) hospitalar. Na tese, tais abordagens são divididas em cinco artigos que inicialmente identificam os métodos atualmente empregados na literatura em geral e pelo hospital acadêmico utilizado como referência neste estudo, para propor novos métodos de solução para problemas estratégicos, táticos e operacionais de extrema relevância no contexto da gestão eficiente dos recursos físicos de um BC. Os métodos otimizantes apresentados nesta tese se referenciam nos tempos históricos de realização das cirurgias e no tempo esperado de permanência dos pacientes nos leitos da unidade de recuperação pós-anestésica (URPA) para alocar, em nível tático, os blocos de tempo das salas de cirurgia (SC's) às especialidades cirúrgicas e, em nível operacional, sequenciar as cirurgias para atender a demanda de cirurgias eletivas e maximizar a utilização de capacidade dos recursos físicos do BC. Em nível estratégico, os problemas abordados na tese se referem ao dimensionamento da quantidade requerida de SC's e de leitos de recuperação da URPA, e do compartilhamento ótimo desses recursos entre as especialidades cirúrgicas, utilizando os blocos de tempo das SC's como variáveis de decisão para atender a demanda de cirurgias eletivas das especialidades cirúrgicas do BC.

Palavras-chave: Planejamento de recursos, MSSP, SCSP, CMPP, sala de cirurgia.

ABSTRACT

This thesis presents optimising approaches for solving resource planning problems in an operating theatre (OT). The approaches are presented in five articles which start identifying current methods used in the literature as well as in the academic hospital for proposing new optimising solution methods for relevant strategic, tactical and operational problems concerning to efficient OT's resource utilisation. The methods presented in the thesis take as the reference the historical surgery times of the surgical specialities to calculate their expected number of surgeries per working shift and their expected patient's length of stay in the recovery beds of the post anesthesia care unit (PACU). Such metrics are essential for allocating the operating room block times, at tactical level, and for sequencing the surgeries in the operating rooms, at operational level, in order to comply with the elective surgeries demand and miximise OT's resource utilisation. The problems at strategic planning level refer to the dimensioning of the required number of operating rooms and PACU recovery beds to comply with the surgical demand and determining the optimal allocation mix within the surgical specialities, taking the operating room block times as the decision variables of both problems.

Key-words: *Resource planning, MSSP, SCSP, CMPP, operating room*

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 - Número de SC's e leitos da URPA resultante da otimização com diferentes valores de γ_n	73
Figura 5.1 - Fluxo do paciente entre SC e URPA.....	91
Figura 5.2 - Sequência de cirurgias do quinto dia da semana para $\gamma_n = 0,60$	102
Figura 5.3 - Sequência de cirurgias do quinto dia da semana para $\gamma_n = 0,80$	103
Figura 6.1 - Fluxo do paciente em um BC hospitalar.....	109
Figura 6.2 - Fluxo do paciente entre SC e URPA.....	117
Figura 6.3 - Sequência de cirurgias do quinto dia da semana para $\gamma_n = 0,60$	129
Figura 6.4 - Sequência de cirurgias do quinto dia da semana para $\gamma_n = 0,80$	130

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1 - Descrição dos artigos da tese.....	18
Quadro 2.1 - Critérios de exclusão.....	25
Quadro 2.2 - Critérios de categorização.....	25
Quadro 2.3 – Etapas da apresentação dos resultados.....	26
Quadro 2.4 - Problemas de pesquisa abordados pelas publicações.....	28
Quadro 2.5 - Áreas do BC abordadas pelas publicações.....	30
Quadro 2.6 - Objetivos considerados nas publicações.....	34
Quadro 2.7 - Abordagens de solução dos problemas considerados nas publicações.....	36
Quadro 2.8 - Estudos considerados nas publicações.....	38
Quadro 3.1 - Questionário semiestruturado.....	54
Quadro 3.2 - Respostas da parte de identificação do respondente e de suas competências.....	56
Quadro 3.3 - Respostas da etapa de identificação dos métodos e recursos utilizados.....	56
Quadro 3.4 - Respostas das questões sobre aspectos adicionais ao ambiente de programação.....	57
Quadro 3.5 - Questionário semiestruturado para o grupo focado.....	58
Quadro 6.1 - Combinações das permutações de A e B.....	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Resultados da busca nas bases de dados por ano de publicação.....	26
Tabela 2.2 - Resultados da busca após a exclusão das publicações em duplicidade.....	27
Tabela 2.3 - Resultados da busca após aplicação dos critérios de exclusão.....	27
Tabela 2.4 – Principais periódicos com publicações selecionadas para a pesquisa.....	27
Tabela 2.5 - Problema de pesquisa das publicações.....	29
Tabela 2.6 - Área do BC abordada nas publicações.....	31
Tabela 2.7 - Problema estudado versus área do BC abordada nas publicações.....	33
Tabela 2.8 - Objetivos considerados nas publicações.....	33
Tabela 2.9 - Relações entre problemas, áreas do BC e objetivos das publicações.....	35
Tabela 2.10 - Relações entre problemas, áreas do BC e principais abordagens de solução	37
Tabela 2.11 - Evolução dos tipos de publicações.....	38
Tabela 2.12 - Relações entre problemas, áreas do BC e abordagens de estudo.....	39
Tabela 4.1 - Estatística descritiva dos tempos nas SC's e URPA	71
Tabela 4.2 - Valores de p , t_n e c_n utilizados pelo modelo de otimização.....	72
Tabela 4.3 - Número de SC's e leitos da URPA resultante da otimização com diferentes valores de γ_n	73
Tabela 4.4 - Solução do CMPP [%] para diferentes valores de γ_n e o número correspondente de blocos de tempo alocados às especialidades cirúrgicas em h	74
Tabela A1 - Demanda de cirurgias das especialidades cirúrgicas.....	78
Tabela A2 - Demanda de blocos de tempo das especialidades cirúrgicas.....	79
Tabela 5.1 - Estatística descritiva dos tempos nas SC's e URPA	94
Tabela 5.2 - Valores de p , t_n e c_n utilizados pelo modelo de otimização.....	95
Tabela 5.3 - Demanda semanal de blocos de tempo das especialidades cirúrgicas no horizonte de programação.....	96
Tabela 5.4 - Escala de alocação semanal dos blocos de tempo das SC's com $\gamma_n = 0,60$	96
Tabela 5.5 - Escala de alocação semanal dos blocos de tempo das SC's com $\gamma_n = 0,80$	97
Tabela 5.6 - Blocos de tempo das SC's alocados às especialidades cirúrgicas.....	98
Tabela 5.7 - Cirurgias esperadas por especialidade cirúrgica e o atendimento % da demanda de cirurgias.....	99
Tabela 5.8 - Tempo das cirurgias t_s (em minutos) e i_{snh} das cirurgias do primeiro turno da semana.....	100
Tabela 5.9 - Capacidade percentual utilizada nas SC's e leitos da URPA para $\gamma_n = 0,60$	100
Tabela 5.10 - Capacidade percentual utilizada nas SC's e leitos da URPA para $\gamma_n = 0,80$	101
Tabela 6.1 - Estatística descritiva dos tempos nas SC's e URPA	121
Tabela 6.2 - Valores de p , t_n e c_n utilizados pelo modelo de otimização.....	122
Tabela 6.3 - Escala de alocação semanal dos blocos de tempo das SC's com $\gamma_n = 0,60$	123

Tabela 6.4 - Escala de alocação semanal dos blocos de tempo das SC's com $\gamma_n = 0,80$	124
Tabela 6.5 - Blocos de tempo das SC's alocados às especialidades cirúrgicas.....	125
Tabela 6.6 - Número de cirurgias esperadas por especialidade cirúrgica.....	126
Tabela 6.7 - Comparativo das abordagens de solução do MSSP.....	126
Tabela 6.8 - Capacidade percentual utilizada nas SC's e leitos da URPA para $\gamma_n = 0,60$	127
Tabela 6.9 - Capacidade percentual utilizada nas SC's e leitos da URPA para $\gamma_n = 0,80$	128
Tabela 6.10 - Comparativo de ocupação de capacidade entre as abordagens de solução do MSSP.....	130

LISTA DE SIGLAS

B&B – *Branch and Bound*
BC – Bloco cirúrgico
BIP – Programação inteira binária (*Binary Integer Programming*)
B&P – *Branch and Price*
B/R – Relação entre o número de leitos de recuperação e o número de salas de cirurgia
BS – *Block scheduling*
BUC - Cirurgia buco maxilo facial
CAD - Cirurgia do aparelho digestivo
CCV - Cirurgia cardiovascular
CG – Geração de colunas (*Column Generation*)
CIG - Cirurgia geral
CII – Cirurgia pediátrica
CIP - Cirurgia plástica
CIT - Cirurgia torácica
CIV - Cirurgia vascular
CME – Centro de materiais esterilizados
CMPP – *Case mix planning problem*
CP – Programação de restrições (*Constraint Programming*)
CTI – Centro de tratamento intensivo
DP – *Dynamic programming*
FIFO – *First in first out*
GA – Algoritmo genético (*Genetic Algorithm*)
IP – Programação inteira (*Integer Programming*)
LIFO – *Last in first out*
LP – Programação linear (*Linear Programming*)
LPT – *Longest processing time*
MBS – *Modified block scheduling*
MCS – Simulação Monte Carlo (*Monte Carlo Simulation*)
MIP - Programação inteira mista (*Mixed Integer Programming*)
MINLP – Programação não linear inteira mista (*Mixed Integer Nonlinear Programming*)
MSSP – *Master surgery scheduling problem*
MST – Mastologia

NCI – Neurocirurgia
ORT - Ortopedia
OS – *Open scheduling*
OTO – Otorrinolaringologia
PRO - Colo-proctologia
SA – *Simulated annealing*
SC / SC's – Sala(s) de cirurgia(s)
SCSP – *Surgical case sequencing problem*
SD – *Science direct*
SGO - Ginecologia
TS – *Tabu search*
URL - Urologia
URPA – Unidade de recuperação pós-anestésica
UTI – Unidade de tratamento intensivo
VNS – *Variable neighbourhood search*
WS – *Web of science*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 TEMA E OBJETIVOS	15
1.2 JUSTIFICATIVA DO TEMA E DOS OBJETIVOS.....	16
1.3 IDENTIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	17
1.4 ESTRUTURA DA PESQUISA	18
1.5 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA	19
1.6 REFERÊNCIAS.....	19
2 REVISÃO SISTEMÁTICA DAS ABORDAGENS DE SOLUÇÃO DOS PROBLEMAS MSSP E SCSP EM BLOCO CIRÚRGICO HOSPITALAR	22
2.1 INTRODUÇÃO	23
2.2 PLANO DE PESQUISA.....	24
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
2.4 CONCLUSÃO	40
2.5 REFERÊNCIAS.....	41
3 IMPACTOS DA PROGRAMAÇÃO DE CIRURGIAS NA UTILIZAÇÃO DOS RECURSOS FÍSICOS DO BLOCO CIRÚRGICO HOSPITALAR	51
3.1 INTRODUÇÃO	52
3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	54
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
3.4 CONCLUSÃO	61
3.5 REFERÊNCIAS.....	62
4 MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO E COMPARTILHAMENTO DE RECURSOS FÍSICOS DE UM BLOCO CIRÚRGICO HOSPITALAR.....	64
4.1 INTRODUÇÃO	65
4.2 MODELO DE OTIMIZAÇÃO	67
4.3 RESULTADOS.....	71
4.4 CONCLUSÃO	76
4.5 REFERÊNCIAS.....	77
4.6 APÊNDICES.....	78

5 PROGRAMAÇÃO DE CIRURGIAS ELETIVAS ORIENTADA POR DEMANDA	81
5.1 INTRODUÇÃO	82
5.2 MODELOS DE OTIMIZAÇÃO.....	86
5.3 RESULTADOS.....	93
5.4 CONCLUSÃO	103
5.5 REFERÊNCIAS.....	104
6 UMA ABORDAGEM DE OTIMIZAÇÃO PARA OS PROBLEMAS MSSP E SCSP.....	108
6.1 INTRODUÇÃO	109
6.2 MODELOS DE OTIMIZAÇÃO.....	113
6.3 RESULTADOS.....	120
6.4 CONCLUSÃO	131
6.5 REFERÊNCIAS.....	132
7 CONCLUSÃO.....	137

1 INTRODUÇÃO

A utilização eficiente dos recursos físicos e humanos é um objetivo permanente da gestão de um bloco cirúrgico (BC) hospitalar, área de intenso fluxo de pacientes e de elevados custos operacionais. As atividades do BC utilizam recursos de diversas áreas do hospital, tais como áreas de tratamento intensivo, internação e análises clínicas, de forma que a gestão dos recursos do BC torna-se crucial para a gestão de todo o hospital. Visando a aumentar a eficiência, sistemas de gestão hospitalar adotam um processo de tomada de decisão integrado entre os níveis hierárquicos, cujo desempenho dos níveis inferiores realimenta os objetivos e metas dos níveis superiores. A questão central é sincronizar o uso dos diferentes recursos requeridos ao mesmo tempo pelo BC, como salas de cirurgia (SC's), leitos de recuperação, equipamentos, cirurgiões, enfermeiros e anestesistas, objetivando elevar a taxa de utilização dos recursos físicos através da eliminação de períodos ociosos e de períodos de trabalho adicionais da força de trabalho (GUERRIERO e GUIDO, 2011; HULSHOF *et al.*, 2012; DEMEULEMEESTER *et al.*, 2013; BERTSIMAS *et al.*, 2014).

As decisões de planejamento são interdependentes entre os níveis hierárquicos, estratégico, tático e operacional, de tal forma que decisões tomadas em níveis hierárquicos mais elevados impõem restrições aos demais níveis. Neste sentido, diversas abordagens utilizam técnicas de sequenciamento para aprimorar a gestão dos recursos do BC, com relatos de aplicações bem sucedidas em hospitais dos Estados Unidos, Canadá, Holanda, Bélgica, Itália, Portugal, China e França, entre outros (BELIEN *et al.*, 2006; GUERRIERO e GUIDO, 2011; GUL *et al.*, 2011; MA e DEMEULEMEESTER, 2013; AGNETIS *et al.*, 2014; FÜGENER *et al.*, 2014; MARQUES *et al.*, 2014; SPRATT e KOZAN, 2016).

Esta tese apresenta abordagens apoiadas em métodos de otimização para solucionar problemas de planejamento de um BC hospitalar no que diz respeito aos níveis estratégico, tático e operacional. Em nível estratégico a tese aborda o problema de divisão da capacidade de longo prazo do BC entre as especialidades cirúrgicas, conhecido como *Case Mix Planning Problem* (CMPP), e o problema do dimensionamento das necessidades de recursos físicos do BC, na forma de SC's e de leitos de recuperação pós-anestésica, para atender à demanda de cirurgias das especialidades cirúrgicas do BC. No plano tático, a elaboração de uma escala semanal, de repetição cíclica, de distribuição dos blocos de tempo que representam os horários das SC's entre as especialidades cirúrgicas do BC se refere ao problema conhecido

como *Master Surgery Scheduling Problem* (MSSP). Por fim, no plano operacional o *Surgical Case Sequencing Problem* (SCSP) se refere ao sequenciamento das cirurgias dos pacientes nos turnos de trabalho das especialidades cirúrgicas alocadas aos blocos de tempo das SC's pela solução do MSSP (SANTIBÁÑEZ *et al.*, 2007; CARDOEN *et al.*, 2009; 2010; GUERRIERO e GUIDO, 2011; HULSHOF *et al.*, 2012; SPRATT e KOZAN, 2016).

No plano tático, o MSSP é solucionado em duas versões distintas, ambas considerando os recursos físicos do BC resultantes da aplicação do modelo estratégico de dimensionamento de recursos do Capítulo 4. A primeira versão se referencia na demanda de cirurgias para distribuir os blocos de tempo das SC's entre as especialidades cirúrgicas do BC com o objetivo de minimizar a quantidade de cirurgias não agendadas no horizonte de programação considerado, porém garantindo o atendimento de percentual mínimo da demanda individual das especialidades cirúrgicas do BC. A segunda versão de solução do MSSP distribui os blocos de tempo das SC's entre as especialidades cirúrgicas do BC para maximizar a realização de cirurgias semanais, com o requisito de distribuir diariamente ao menos um bloco de tempo das SC's por especialidade cirúrgica, permitindo formar equipes cirúrgicas em escalas semanais.

As duas abordagens de solução do SCSP, no plano operacional, sequenciam as cirurgias conforme as escalas de alocação dos blocos de tempo das SC's às especialidades cirúrgicas resultantes das soluções das versões supracitadas do MSSP, com objetivo de minimizar o *makespan* de utilização dos leitos de recuperação da unidade de recuperação pós-anestésica (URPA). As versões de solução do SCSP se diferenciam pela forma de seleção das cirurgias para o sequenciamento, a primeira versão utiliza um índice de priorização para seleção das cirurgias de uma fila de espera, enquanto que a segunda versão seleciona aleatoriamente as cirurgias para sequenciamento.

1.1 TEMA E OBJETIVOS

O tema da presente tese é o planejamento de recursos de um BC hospitalar, utilizando métodos otimizantes para solucionar problemas estratégicos, táticos e operacionais, visando a aumentar a eficiência da utilização de tais recursos.

Os objetivos específicos da tese são:

- (i) Identificar na literatura os métodos utilizados para solucionar os problemas MSSP e SCSP em BC hospitalar;

- (ii) Identificação os impactos da programação de cirurgias na utilização dos recursos físicos do BC;
- (iii) Desenvolver métodos otimizantes para solução dos problemas estratégicos de dimensionamento de recursos físicos do BC e compartilhamento desses recursos entre as especialidades cirúrgicas do BC, ambos com base na demanda semanal de cirurgias;
- (iv) Desenvolver um método otimizante para solucionar o MSSP visando a minimizar o número de cirurgias não programadas, com base na demanda semanal de cirurgias e na seleção de pacientes através de um índice de priorização; e
- (v) Desenvolver um método otimizante para solucionar o MSSP para maximizar a realização de cirurgias eletivas atendendo requisitos de alocação mínima de blocos de tempo das SC's para as especialidades cirúrgicas, com objetivo de formar equipes cirúrgicas em escalas regulares de trabalho.

1.2 JUSTIFICATIVA DO TEMA E DOS OBJETIVOS

O planejamento integrado entre os níveis hierárquicos de um BC é de fundamental importância para o desempenho operacional e financeiro dos hospitais. Com este fim, a bem sucedida utilização de métodos otimizantes no suporte às decisões de planejamento estratégicas, táticas e operacionais de um BC hospitalar resulta em diversos benefícios, os quais incluem, dentre outros, o aumento da utilização da capacidade e diminuição da demanda de pessoal (MORTON e PENTICO, 1993; PINEDO, 2005; 2012).

Apesar dos potenciais benefícios, muitas pesquisas focam em decisões de planejamento isoladas entre os níveis hierárquicos, desconsiderando os impactos dessas decisões no desempenho dos demais níveis. A desconexão entre as decisões de nível tático e operacional é evidenciada em muitos trabalhos que abordam separadamente os problemas MSSP e SCSP, com maior ênfase para o segundo problema. Adicionalmente, muitos trabalhos que consideram apenas a solução do SCSP focam somente na programação de procedimentos cirúrgicos na SC desconsiderando os impactos do sequenciamento das cirurgias em outras áreas do BC, como na utilização dos leitos de recuperação da URPA. Neste sentido, o artigo que atende ao objetivo específico (i) apresenta uma revisão sistemática dos métodos utilizados para solucionar os problemas MSSP e SCSP, de modo a identificar oportunidades de pesquisas para elaboração dos artigos referentes aos objetivos específicos (iv) e (v)

(GUERRIERO e GUIDO, 2011; HUSLHOF *et al.*, 2012; MARQUES *et al.*, 2012; 2014; BANDITORI *et al.*, 2013; MESKENS *et al.*, 2013; CHOI e WILHELM, 2014; FÜGENER *et al.*, 2014; GARTNER e KOLISCH, 2014).

A base de conceitual acerca das relações entre as decisões de planejamento e seus impactos na ocupação dos recursos físicos do BC é apresentada no artigo que atende ao objetivo específico (ii), com uma pesquisa qualitativa realizada com um cirurgião líder de equipes cirúrgicas de um hospital público e de um hospital privado, e com especialistas de áreas de apoio do BC do hospital universitário, visando a identificar efeitos das decisões táticas e operacionais atuais desses BC's na utilização dos seus recursos físicos. Por fim, o artigo do objetivo específico (iii) objetiva preencher uma lacuna identificada na recente revisão de métodos de otimização aplicados a sistemas de saúde de Ahmadi-Javid *et al.* (2017), apresentando uma inédita abordagem de otimização para dimensionamento de recursos físicos, SC's e leitos de URPA, para atendimento da demanda de cirurgias eletivas de um BC.

A complexidade característica da atividade hospitalar é evidenciada pelos seus, também complexos, métodos utilizados na tomada para tomada de decisões de planejamento. Tais métodos visam a subsidiar o processo de tomada de decisão, fornecendo a combinação ótima do uso dos recursos disponíveis, em um ambiente sujeito a diversas restrições. Nesse contexto, a presente tese contribui com abordagens otimizantes para solucionar problemas de extrema relevância no contexto da gestão de um BC, alinhado com aspectos reais da gestão de um BC, pois contempla restrições referentes ao trabalho de equipes médicas, demanda de cirurgias por especialidade cirúrgica, dimensionamento e utilização dos recursos físicos e priorização na seleção de pacientes de uma fila de espera.

1.3 IDENTIFICAÇÃO DA PESQUISA

Na consecução de seus objetivos específicos, a pesquisa utiliza tanto a abordagem qualitativa quanto a abordagem quantitativa. A abordagem qualitativa é utilizada na consecução dos objetivos específicos (i) e (ii), respectivamente, através de uma revisão sistemática da literatura aplicada à solução dos problemas MSSP e SCSP e através de entrevistas individuais e grupos focados com especialistas para identificar aspectos qualitativos relevantes às decisões de planejamento. A abordagem quantitativa, por sua vez, utiliza métodos otimizantes de Programação Inteira e Programação Linear para o desenvolvimento dos métodos relacionados aos objetivos específicos (iii), (iv) e (v).

1.4 ESTRUTURA DA PESQUISA

A pesquisa é dividida em cinco etapas, onde cada etapa corresponde a um artigo que visa a atender aos objetivos específicos supracitados. Com relação à estrutura da tese, cada artigo corresponde a um dos capítulos subsequentes a presente introdução. O Quadro 1.1 apresenta os artigos, métodos utilizados e sua contribuição científica.

Quadro 1.1: Descrição dos artigos da tese

Art.	Título	Métodos utilizados	Contribuição científica
1	Revisão sistemática das abordagens de solução dos problemas MSSP e SCSP em bloco cirúrgico hospitalar	Pesquisa bibliográfica buscando por artigos solucionando os problemas MSSP e SCSP	Categorização e identificação de oportunidades de pesquisa e dos métodos de solução dos problemas MSSP e SCSP conforme: o problema de pesquisa, área do BC considerada, função objetivo, abordagem de solução e tipo de estudo.
2	Impactos da programação de cirurgias na utilização dos recursos físicos do bloco cirúrgico hospitalar	Pesquisa qualitativa realizada com entrevistas individuais e grupos focados	Identificação de impactos da programação de cirurgias na utilização dos recursos físicos do BC como SC's e leitos de recuperação da URPA
3	Método de dimensionamento e compartilhamento de recursos físicos de um bloco cirúrgico hospitalar	Programação Inteira	Método para dimensionar a necessidade de recursos físicos do BC e compartilhar a capacidade desses recursos entre as especialidades cirúrgicas do BC em função da demanda de cirurgias eletivas.
4	Programação de cirurgias eletivas orientada por demanda	Programação Inteira e Programação Linear	Método de solução do MSSP, em horizonte semanal, em função da demanda de cirurgias eletivas. Método de solução do SCSP com índice de priorização para seleção de cirurgias.
5	Uma abordagem de otimização para os problemas MSSP e SCSP	Programação Inteira e Programação Linear	Método de solução do MSSP respeita limites inferiores na distribuição de blocos de tempo para formar equipes de trabalho. Método de solução do SCSP com seleção aleatória de cirurgias.

Fonte: O autor

1.5 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

A pesquisa considera em seu escopo os métodos utilizados para o planejamento de recursos aos níveis estratégico, tático e operacional de um BC hospitalar formado por SC's e leitos de recuperação da URPA para realização de cirurgias eletivas. Desta forma, não são considerados na pesquisa os seguintes tópicos:

- Procedimentos ambulatoriais.
- Cirurgias de urgência ou emergência e transplantes.
- Disponibilidade ou utilização de leitos da unidade de tratamento intensivo (UTI) ou de internação.
- Aspectos relacionados a custos ou reembolsos de despesas dos procedimentos.
- Elaboração de escalas de trabalho das equipes médicas e de serviços auxiliares.

1.6 REFERÊNCIAS

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 17 (2014) 49-59

AHMADI-JAVID, A.; JALALI, Z.; KLASSEN, K. J. *Outpatient appointment systems in healthcare: a review of optimization studies.* European Journal of Operational Research 258 (2017) 3-34

BANDITORI, C.; CAPPANERA, P.; VISINTIN, F. *A combined optimization-simulation approach to the master surgical scheduling problem.* Journal of Management Mathematics 24 (2013) 155-187

BELIËN, J.; DEMEULEMEESTER, E.; CARDOEN, B. *Visualizing the demand for various resources as a function of the master schedule: a case study.* J Med Syst 30 (2006) 343-350

BERTSIMAS, D.; GUPTA, S.; LULLI, G. *Dynamic resource allocation: A flexible and tractable modeling framework.* European Journal of Operational Research 236 (2014) 14-26

CARDOEN, B.; DEMEULEMEESTER, E.; BELIËN, J. *Operating room planning and scheduling: a literature review.* European Journal of Operational Research 201 (2010) 921-932

_____. *Sequencing surgical cases in day-care environment: an exact branch-and-price approach.* Computers & Operations Research 36 (2009) 2660-2669

CHOI, S.; WILHELM, W. E. *An approach to optimize block surgical schedules.* European Journal of Operational Research 235 (2014) 138-148

DEMEULEMEESTER, E.; BELIËN, J.; CARDOEN, B.; SAMUDRA, M. *Operating Room Planning and Scheduling.* Handbook of Healthcare Operations Management: Methods and Applications 121-152. New York: Springer, 2013

FÜGENER, A.; HANS, E. W.; KOLISCH, R.; KORTBEEK, N.; VANBERKEL, P. T. *Master surgery scheduling with consideration of multiple downstream units.* European Journal of Operational Research 239 (2014) 227-236

GARTNER, D.; KOLISCH, R. *Scheduling the hospital wide flow of elective patients.* European Journal of Operational Research 233 (2014) 689-699

GUERRIERO, F.; GUIDO, R. *Operational research in the management of the operating theatre: a survey.* Health Care Manag Sci 14 (2011) 89-114

GUL, S.; DENTON, B. T.; FOWLER, J. W.; HUSCHKA, T. *Bi-criteria scheduling of surgical services for an outpatient procedure center.* Production and Operations Management v.20 3 (2011) 406-417

HULSHOF, P. J. H.; KORTBEEK, N.; BOUCHERIE, R. J.; HANS, E. W.; BAKKER, P. J. M. *Taxonomic classification of planning decisions in health care: a structured review of the state of the art in OR/MS.* Health Systems 1 (2012) 129-175

MA, G.; DEMEULEMEESTER, E. *A multilevel integrative approach to hospital case mix and capacity planning.* Computers & Operations Research 40 (2013) 2198-2207

MARQUES, I.; CAPTIVO, M. E.; PATO, M. V. *Scheduling elective surgeries in a Portuguese hospital using a genetic heuristic.* Operations Research for Health Care 3 (2014) 59-72

_____. *An integer programming approach to elective surgery scheduling.* OR Spectrum 34 (2012) 407-427

MESKENS, N.; DUDIVIER, D.; HANSET, A. *Multi-objective operating room scheduling considering desiderata of the surgical team.* Decision Support Systems 55 (2013) 650-659

MORTON, T. E.; PENTICO, D. W. *Heuristic Scheduling Systems: with applications to production systems and project management.* New York: John Wiley and Sons, 1993

PINEDO, M. L. *Planning and Scheduling in Manufacturing and Services.* New York: Springer, 2005

_____. *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems.* New York: Springer, 2012

SANTIBÁÑEZ, P.; BEGEN, M.; ATKINS, D. *Surgical block scheduling in a system of hospitals: an application to resource and wait list management in a British Columbia health authority.* Health Care Manag Sci 10 (2007) 269-282

SPRATT, B.; KOZAN, E. *Waiting list management through master surgical schedules: a case study.* Operations Research for Health Care 10 (2016) 49-64

2 REVISÃO SISTEMÁTICA DAS ABORDAGENS DE SOLUÇÃO DOS PROBLEMAS MSSP E SCSP EM BLOCO CIRÚRGICO HOSPITALAR

Guilherme V. Etcheverry, guilherme_etcheverry@yahoo.com.br

Michel J. Anzanello, *PhD*, michel.anzanello@gmail.com

Resumo

Este artigo apresenta uma revisão sistemática da literatura de sequenciamento de cirurgias eletivas em bloco cirúrgico (BC) hospitalar, com foco nos problemas MSSP (*Master Surgery Scheduling Problem*), de alocação de especialidades cirúrgicas às salas de cirurgia e SCSP (*Surgical Case Sequencing Problem*), de sequenciamento das cirurgias eletivas das especialidades cirúrgicas alocadas a essas salas. As publicações em língua inglesa, selecionadas das bases de dados *Science Direct* e *Web of Science* entre 2006 e 2017, são categorizadas pelo problema de pesquisa, áreas do BC consideradas na pesquisa, objetivo do estudo, abordagem de solução e tipo de estudo. O estudo identifica oportunidades para pesquisas aplicadas que considerem os problemas MSSP e SCSP juntos, integrando áreas do BC com objetivo de maximizar a utilização de capacidade dessas áreas e minimizar os custos operacionais.

Palavras-chaves: Sequenciamento, revisão sistemática, MSSP, SCSP, bloco cirúrgico

Abstract

This article presents a systematic review of approaches for scheduling and sequencing elective surgeries in operating theatre (OT), focusing on the problems MSSP (Master Surgery Scheduling Problem), allocation of surgical specialties to operating rooms and SCSP (Surgical Case Sequencing Problem), sequencing elective surgeries within these rooms. The publications written in English from 2006 to 2017, selected from Science Direct and Web of Science databases, are organised according to the type of research problem, OT areas considered in the research, research goals, solution approach and type of study. The research identifies opportunities to applied research considering both problems together, with integration of OT areas, aiming to maximise the capacity utilisation of these areas and minimising operational costs.

Key words: Scheduling, systematic review, MSSP, SCSP, operating room

2.1 INTRODUÇÃO

O bloco cirúrgico (BC) de um hospital vivencia diariamente duas situações: gestão de capacidade dos recursos físicos, relacionada à alocação de SC's e equipamentos, e a eficiência no uso dos recursos humanos, relativo às escalas da força de trabalho e suas limitações legais. Usualmente, após a admissão o paciente é encaminhado para a sala de cirurgia (SC) e, após concluir o procedimento cirúrgico, ele é conduzido para um leito de recuperação da unidade de recuperação pós-anestésica (URPA) ou, conforme seu estado clínico, para a unidade de tratamento intensivo (UTI). Por fim, o paciente pode deixar o hospital ou ser encaminhado para um leito de internação (JEBALI *et al.*, 2006; SAREMI *et al.*, 2013; ZHAO e LI, 2014).

Objetiva-se alcançar elevada taxa de utilização dos recursos ao menor custo possível, através da sincronização do uso dos diferentes recursos requeridos ao mesmo tempo, como SC's, leitos, equipamentos, cirurgiões, enfermeiros e anestesistas. Isso implica que períodos ociosos dos recursos físicos e períodos de trabalho adicionais da força de trabalho devem ser eliminados, ou pelo menos reduzidos. Neste contexto, técnicas de sequenciamento vêm sendo amplamente utilizadas no ambiente de prestação de serviços, visando a aprimorar a gestão de capacidade dos recursos físicos e eficiência no uso dos recursos humanos, com aplicações em diversas áreas, tais como na gestão de um BC hospitalar (MORTON e PENTICO, 1993; PINEDO, 2005; 2012; DEMEULEMEESTER *et al.*, 2013; BERTSIMAS *et al.*, 2014).

Neste sentido, o MSSP (*Master Surgery Scheduling Problem*) e o SCSP (*Surgical Case Sequencing Problem*) são problemas que se referem, respectivamente, aos planos tático e operacional, em horizontes de médio e curto prazo do planejamento de atividades de um BC que adota a estratégia de sequenciamento por blocos de tempo (*block scheduling* – BS). O MSSP se refere ao problema de alocação de blocos de tempo das SC's às especialidades cirúrgicas, usualmente em maior número do que as SC's, em período de tempo cíclico que normalmente varia entre um e seis meses. As especialidades cirúrgicas competem entre si pelos blocos de tempo das SC's visando a cumprir metas operacionais do BC, como, por exemplo, maximização de cirurgias semanais ou redução da fila de espera (CARDOEN *et al.*, 2010; MAY *et al.*, 2011).

O SCSP, por sua vez, se refere ao problema de designação e sequenciamento das cirurgias alocadas às SC's, usualmente em períodos semanais ou diários. A designação das cirurgias às SC's utiliza um critério de seleção que pode considerar, por exemplo, tempo esperado de realização da cirurgia, tempo de espera na fila, entre outros. A ordenação das cirurgias

observa a expectativa de disponibilidade de leitos e eventuais conflitos na utilização de recursos compartilhados como equipamentos e instrumentais cirúrgicos (CARDOEN *et al.*, 2010; MAY *et al.*, 2011).

Desta forma, esta revisão sistemática objetiva identificar, dentre as publicações focadas em MSSP e SCSP, as áreas do BC consideradas nesses problemas, o tipo de estudo e seus objetivos e as abordagens de solução utilizadas para resolvê-los. Assim, na sequência desta introdução, o artigo apresenta na seção 2.2 o plano de pesquisa contendo a estratégia de busca nas bases de dados e os critérios utilizados para selecionar os artigos. A seção 2.3 apresenta os resultados da pesquisa com as publicações agrupadas pelos critérios de categorização e, por fim, a seção 2.4 apresenta a conclusão do trabalho e suas possíveis direções futuras de pesquisa.

2.2 PLANO DE PESQUISA

Uma revisão sistemática é tipicamente realizada em duas etapas. Na primeira etapa é definida a estratégia de busca para mapear o campo de pesquisa, avaliar e julgar a qualidade e relevância dos resultados da busca. A segunda etapa apresenta os resultados, identifica lacunas e propõe direções para pesquisas futuras. Neste sentido, utiliza-se referencialmente a Declaração Prisma para o planejamento e apresentação da revisão sistemática (ALDERSON *et al.*, 2004; MACPHERSON e HOLT, 2007; LIBERATI *et al.*, 2009).

2.2.1 Estratégia de busca

A busca inicial é realizada nas bases de dados *Science Direct* (SD) e *Web of Science* (WS) devido ao grande número de publicações voltadas à área de interesse da pesquisa. A língua inglesa foi escolhida com o objetivo de identificar o maior número possível de publicações no período compreendido entre 2006 e 2017 (CARDOEN *et al.*, 2010; GUERRIERO e GUIDO, 2011; AHMADI-JAVID *et al.*, 2017). Por fim, os termos de busca utilizados para identificar as publicações de interesse foram: “(surgery OR surgical OR operating room OR operation room) AND (scheduling OR schedule)” no título, resumo e palavras-chaves das publicações do SD e na pesquisa pelo título das publicações do WS. Os resultados da busca são inicialmente filtrados para excluir artigos em duplicidade e, logo após, são aplicados os critérios de exclusão aos artigos remanescentes.

2.2.2 Critérios de exclusão

Na sequência da eliminação das publicações em duplicidade são aplicados os critérios de exclusão, mostrados no Quadro 2.1. Como resultado, são excluídos os registros cujo texto integral não esteja disponível ou que não tenham sido escritos em língua inglesa e, em relação ao escopo das publicações, os artigos que não abordam os problemas MSSP e SCSP.

Quadro 2.1: Critérios de exclusão

Número	Critério	Razões para exclusão
1	Indisponibilidade	Arquivo digital indisponível nas bases de dados
2	Idioma	Artigos não escritos em língua inglesa
3	Escopo	Fora do escopo da pesquisa, ex.: sequenciamento de força de trabalho, sequenciamento de projetos, artigos de revisão sistemática etc

Fonte: Os autores

2.2.3 Critérios de categorização

As publicações remanescentes à aplicação dos critérios de exclusão são categorizadas pelos critérios mostrados no Quadro 2.2. O primeiro critério de categorização se refere aos problemas de pesquisa considerados: MSSP, SCSP ou ambos. As áreas do BC consideradas nas publicações são as SC's e suas combinações com outras áreas. As funções-objetivo consideradas nas publicações são, entre outras, a maximização da capacidade utilizada, a minimização do *makespan* ou das filas de espera de cirurgias eletivas, enquanto as abordagens de solução são classificadas em exatas ou heurísticas. Por fim, as publicações são categorizadas em estudos teóricos, simulados ou aplicados.

Quadro 2.2: Critérios de categorização

Nr	Critérios	Descrição
1	Problema de pesquisa abordado	MSSP, SCSP ou ambos
2	Áreas do BC consideradas	SC's, URPA, leitos, UTI, etc
3	Objetivo do estudo	Min. <i>Makespan</i> , Max. utilização de capacidade, etc
4	Abordagem de solução	Exata, heurística
5	Tipo de estudo	Teórico, simulação, aplicado

Fonte: Os autores

A categorização das publicações, seguindo os critérios do Quadro 2.2, permite identificar preferências dos pesquisadores por tipo e objetivo de estudo e as abordagens de solução utilizadas para solucionar os problemas MSSP e SCSP em diferentes arranjos físicos do BC.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A apresentação dos resultados da pesquisa segue a ordem das etapas descritas no Quadro 2.3, de forma similar à sequência de apresentação sugerida pela Declaração Prisma.

Quadro 2.3: Etapas da apresentação dos resultados

Nr	Etapa	Descrição
1	Identificação das publicações	Resultados das buscas realizadas nas bases de dados SD e WS
2	Análise inicial dos registros	Eliminação de registros em duplicidade
3	Aplicação dos critérios de exclusão	Exclusão de publicações com base nos critérios do Quadro 3.1
4	Categorização das publicações	Categorização das publicações pelos critérios do Quadro 3.2

Fonte: Os autores

A seção 2.3.1 apresenta os resultados das três etapas iniciais do Quadro 2.3, os resultados da busca por publicações nas bases de dados (Tabela 2.1), filtragem dos artigos em duplicidade (Tabela 2.2) e a aplicação dos critérios de exclusão (Tabela 2.3), além de uma relação dos periódicos com maior número de publicações, apresentada na Tabela 2.4. As seções 2.3.2 a 2.3.6 apresentam as publicações categorizadas pelos critérios do Quadro 2.2 e, por fim, a seção 2.3.7 sintetiza as principais ideias abordadas e identifica lacunas na literatura.

2.3.1 Busca inicial

A Tabela 2.1 mostra os resultados da busca realizada nas bases de dados supracitadas. A primeira linha mostra os resultados da busca na base de dados SD e a segunda linha da tabela, por sua vez, apresenta os resultados da busca na base de dados WS. O número total de publicações, por ano de publicação, considerando ambas as bases de dados, é mostrado na terceira linha da tabela.

Tabela 2.1: Resultados da busca nas bases de dados por ano de publicação

Base	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total
SD	19	11	12	25	16	29	24	37	39	51	71	25	359
WS	21	31	30	27	29	32	35	55	49	61	67	12	449
Total	40	42	42	52	45	61	59	92	88	112	138	37	808

Fonte: Bases de dados SD e WS

Das 808 publicações apresentadas na Tabela 2.1 foram excluídas 131 publicações em duplicidade, de modo que o resultado da busca após a exclusão dessas publicações é mostrada na Tabela 2.2.

Tabela 2.2: Resultados da busca após a exclusão das publicações em duplicidade

Base	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total
SD	17	7	9	19	10	26	16	26	24	51	71	25	301
WS	19	29	25	26	23	29	32	49	19	54	60	11	376
Total	36	36	34	45	33	55	48	75	43	105	131	36	677

Fonte: Bases de dados SD e WS

Os critérios de exclusão são aplicados às 677 publicações da Tabela 2.2, resultando em 77 publicações selecionadas para a pesquisa, conforme a distribuição apresentada na Tabela 3.3. As exclusões se referem aos critérios: (1) indisponibilidade (21,8%), (2) idioma (4,5%) e (3) escopo (73,7%).

Tabela 2.3: Resultados da busca após aplicação dos critérios de exclusão

Base	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total
SD	1	1	3	4	3	2	2	5	8	9	7	4	49
WS	1	1	2	3	3	4	5	4	2	1	1	1	28
Total	2	2	5	7	6	6	7	9	10	10	8	5	77

Fonte: Os autores

Os artigos selecionados para a pesquisa foram publicados em trinta e quatro distintos periódicos, dos quais vinte e três periódicos possuem apenas uma publicação. A Tabela 2.4 apresenta a relação dos principais periódicos com publicações selecionadas para a pesquisa. Apesar dos problemas de pesquisa se referirem ao ambiente hospitalar, muitos periódicos listados na tabela são conhecidos pelo grande número de publicações na área de Pesquisa Operacional, enfatizando a complexidade dos problemas de pesquisa e de seus métodos de solução.

Tabela 2.4: Principais periódicos com publicações selecionadas para a pesquisa

Nome do periódico	Nr de publicações
<i>European Journal of Operational Research</i>	13
<i>Computers & Industrial Engineering</i>	9
<i>Operations Research for Health Care</i>	8
<i>Computers & Operations Research</i>	8
<i>International Journal of Production Economics</i>	4

Fonte: Os autores

2.3.2 Problema de pesquisa

O Quadro 2.4 apresenta os problemas de pesquisa abordados pelas publicações selecionadas: MSSP, SCSP ou ambos.

Quadro 2.4: Problemas de pesquisa abordados pelas publicações

Problema	Publicações
MSSP	Dellaert e Jeunet (2017), Penn <i>et al.</i> (2017), Malik <i>et al.</i> (2015), Cappanera <i>et al.</i> (2014), Choi e Wilhelm (2014), Fügener <i>et al.</i> (2014), Banditori <i>et al.</i> (2013), Holte e Mannino (2013), Wang <i>et al.</i> (2013), Agnetis <i>et al.</i> (2012), Mannino <i>et al.</i> (2012), Chow <i>et al.</i> (2011), Tànfanì e Testi (2010), van Oostrum <i>et al.</i> (2008; 2010; 2011), Beliën <i>et al.</i> (2009), van Houdenhoven <i>et al.</i> (2008), Wang e Xu (2008), Beliën e Demeulemeester (2007) e Kharraja <i>et al.</i> (2006)
SCSP	Marques e Captivo (2017), Neyshabouri e Berg (2017), Rachuba e Werners (2017), Abedini <i>et al.</i> (2016), Bing-hai <i>et al.</i> (2016), Landa <i>et al.</i> (2016), Latorre-Núñez <i>et al.</i> (2016), Luo <i>et al.</i> (2016), Riise <i>et al.</i> (2016), Xiao <i>et al.</i> (2016), Aringhieri <i>et al.</i> (2015b), Astaraky e Patrick (2015), Castro e Marques (2015), Dios <i>et al.</i> (2015), Marques e Captivo (2015), Molina-Pariente <i>et al.</i> (2015), Saadouli <i>et al.</i> (2015), Wang <i>et al.</i> (2015), Gartner e Kolisch (2014), Lee e Yih (2014), Pulido <i>et al.</i> (2014), Marques <i>et al.</i> (2012; 2014), M'Hallah e Al-Roomi (2014), Zhao e Li (2014), Dai <i>et al.</i> (2013), Meskens <i>et al.</i> (2013), Saremi <i>et al.</i> (2013), Vijayakumar <i>et al.</i> (2013), Herring e Herrmann (2012), Jeang e Chiang (2012), van Essen <i>et al.</i> (2012), Yin e Xiang (2012), Gul <i>et al.</i> (2011), Liu <i>et al.</i> (2011), Shylo <i>et al.</i> (2011; 2013), Su <i>et al.</i> (2011), Fei <i>et al.</i> (2009), Min e Yih (2010a; 2010b), Roland <i>et al.</i> (2010), Wang <i>et al.</i> (2010), Cardoen <i>et al.</i> (2009a; 2009b), Pariente <i>et al.</i> (2009), Persson e Persson (2009), Souki e Rebai (2009), Hans <i>et al.</i> (2008), Pham e Klinkert (2008), van Houdenhoven <i>et al.</i> (2007) e Jebali <i>et al.</i> (2006)
Ambos	Spratt e Kozan (2016), Aringhieri <i>et al.</i> (2015a), Agnetis <i>et al.</i> (2014) e Ma e Demeulemeester (2013)

Fonte: Os autores

A Tabela 2.5 apresenta a evolução anual das publicações com pesquisa nos problemas MSSP e SCSP. Muitos autores abordam separadamente esses problemas, dos quais, desde 2009 o SCSP vem despertando maior interesse de pesquisa que o MSSP. Entre as abordagens mais recentes, Penn *et al.* (2017) propuseram um modelo em Programação Inteira Mista (MIP – *Mixed Integer Programming*) para solucionar o MSSP considerando diferentes características de BC's, como disponibilidade de equipamentos e de leitos de recuperação. Os autores entrevistaram equipes médicas de um hospital no Reino Unido com o objetivo de identificar e compreender restrições referentes aos recursos humanos para a criação da escala de alocação das especialidades cirúrgicas às SC's. No entanto, os autores reportam a impossibilidade de colocar em prática o modelo proposto devido à falta de recursos informatizados no hospital.

Tabela 2.5: Problema de pesquisa das publicações

Problema	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total
MSSP	1	1	3	1	2	2	2	3	3	1	0	2	21
SCSP	1	1	2	6	4	4	5	5	6	8	7	3	52
Ambos	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	4
Total	2	2	5	7	6	6	7	9	10	10	8	5	77

Fonte: Os autores

Por outro lado, apenas a partir de 2013 os dois problemas passaram a ser abordados simultaneamente por alguns autores. Agnetis *et al.* (2014) utilizaram um procedimento de duas etapas para realizar a programação semanal de cirurgias eletivas de um hospital na Itália. Na primeira etapa os autores alocam especialidades às SC's resolvendo um problema de fluxo de custo mínimo e, na segunda etapa, alocam as cirurgias às SC's resolvendo um problema da mochila múltiplo. Em outro hospital na Itália, Aringhieri *et al.* (2015a) propuseram o *Operating Room Planning Problem* para integrar os dois problemas, MSSP e SCSP, formulando o problema em Programação Inteira Binária (BIP – *Binary Integer Programming*) e resolvendo o problema com o uso de metaheurísticas.

Ma e Demeulemeester (2013) propuseram uma abordagem de três estágios. No primeiro estágio os autores utilizam Programação Inteira (IP – *Integer Programming*) para determinar o volume e mix de pacientes visando maximizar a receita. No segundo estágio é balanceada a capacidade dos leitos de recuperação com um modelo em MIP e, por fim, a terceira etapa utiliza simulações para equilibrar a utilização de capacidade e o nível de serviço do BC, tendo como referência uma estrutura hospitalar típica utilizada na Bélgica. Com objetivo de maximizar a realização de cirurgias, Spratt e Kozan (2016) formularam os dois problemas simultaneamente com Programação Não Linear Inteira Mista (MINLP – *Mixed Integer Nonlinear Programming*) resolvendo-os com *Simulated Annealing* (SA) e *Variable Neighbourhood Search* (VNS) em um hospital da Austrália.

2.3.3 Áreas do BC consideradas na pesquisa

O Quadro 2.5 apresenta as áreas do BC abordadas pelas publicações, cuja evolução anual é mostrada na Tabela 2.6. Destaca-se a concentração de pesquisas focadas apenas na SC. A preferência pelas publicações focadas isoladamente na SC pode ser explicada pelas SC's serem os recursos mais caros de um BC. Contudo, ao focar na SC isoladamente deixa-se de

considerar os recursos à jusante das SC's, os quais fazem parte da estrutura total do BC e que podem impactar no desempenho das SC's.

Quadro 2.5: Áreas do BC abordadas pelas publicações

Área	Publicações
SC	Marques e Captivo (2017), Penn <i>et al.</i> (2017), Rachuba e Werners (2017), Abedini <i>et al.</i> (2016), Landa <i>et al.</i> (2016), Luo <i>et al.</i> (2016), Xiao <i>et al.</i> (2016), Aringhieri <i>et al.</i> (2015a), Castro e Marques (2015), Dios <i>et al.</i> (2015), Malik <i>et al.</i> (2015), Marques e Captivo (2015), Molina-Pariente <i>et al.</i> (2015), Choi e Wilhelm (2014), Marques <i>et al.</i> (2012; 2014), M'Hallah e Al-Roomi (2014), Pulido <i>et al.</i> (2014), Zhao e Li (2014), Dai <i>et al.</i> (2013), Holte e Mannino (2013), Vijayakumar <i>et al.</i> (2013), Agnetis <i>et al.</i> (2012; 2014), Herring e Herrmann (2012), Jeang e Chiang (2012), Mannino <i>et al.</i> (2012), van Essen <i>et al.</i> (2012), Liu <i>et al.</i> (2011), Shylo <i>et al.</i> (2011; 2013), Su <i>et al.</i> (2011), Min e Yih (2010b), Roland <i>et al.</i> (2010), van Oostrum <i>et al.</i> (2010), Wang <i>et al.</i> (2010), Fei <i>et al.</i> (2009), Pariente <i>et al.</i> (2009), Hans <i>et al.</i> (2008), Wang e Xu (2008), van Houdenhoven <i>et al.</i> (2007) e Kharraja <i>et al.</i> (2006)
SC e URPA	Bing-hai <i>et al.</i> (2016), Latorre-Núñez <i>et al.</i> (2016), Riise <i>et al.</i> (2016), Spratt e Kozan (2016), Aringhieri <i>et al.</i> (2015b), Astaraky e Patrick (2015), Saadouli <i>et al.</i> (2015), Wang <i>et al.</i> (2015), Cappanera <i>et al.</i> (2014), Gartner e Kolisch (2014), Lee e Yih (2014), Banditori <i>et al.</i> (2013), Meskens <i>et al.</i> (2013), Saremi <i>et al.</i> (2013), Wang <i>et al.</i> (2013), Chow <i>et al.</i> (2011), Gul <i>et al.</i> (2011), van Oostrum <i>et al.</i> (2011), Beliën <i>et al.</i> (2009), Cardoen <i>et al.</i> (2009a; 2009b), Persson e Persson (2009), Souki e Rebai (2009), Beliën e Demeulemeester (2007) e Jebali <i>et al.</i> (2006)
SC e UTI ou leitos	Dellaert e Jeunet (2017), Neyshabouri e Berg (2017), Fügener <i>et al.</i> (2014), Ma e Demeulemeester (2013), Yin e Xiang (2012), Min e Yih (2010a), Tànfanì e Testi (2010), Pham e Klinkert (2008), van Houdenhoven (2008) e van Oostrum <i>et al.</i> (2008)

Fonte: Os autores

Dentre os autores que abordaram apenas a SC, Choi e Wilhelm (2014) propuseram uma abordagem baseada no *sequential newsvendor problem* para minimizar a soma dos custos de adiantamento e atraso das cirurgias através da determinação do período cíclico ótimo para os blocos de tempo do MSSP, enquanto que Holte e Mannino (2013) utilizaram um algoritmo de Geração de Coluna (CG – *Column Generation*) para alocar especialidades às SC's, em horizonte semanal com repetição cíclica, com objetivo de minimizar os custos das filas de espera. Os autores comprovaram a eficiência do algoritmo com dados reais de um hospital da Dinamarca. Com objetivos similares, Herring e Herrmann (2012) propuseram uma programação estocástica dinâmica para programação diária de cirurgias utilizando um conjunto de heurísticas com regras de priorização.

Zhao e Li (2014) utilizaram MINLP e Programação de Restrições (CP – *Constraint Programming*) para minimizar os custos fixos e de horas extras em SC's com tempos de *setup* dependentes da sequência. Os autores comprovaram maior eficiência da CP utilizando diferentes níveis de variabilidade para o tempo de duração das cirurgias. Com objetivo de maximizar a ocupação das SC's e minimizar a fila de espera de cirurgias eletivas, Marques *et al.* (2014) propuseram duas versões de Algoritmo Genético (GA – *Genetic Algorithm*) para alocar cirurgias às SC's e determinar seu horário de início, utilizando dados de um hospital de Portugal para gerar a programação diária de cirurgias em horizonte semanal.

Com objetivos similares, Marques e Captivo (2017) propuseram três modelos em MILP para comparar diferentes estratégias para a gestão da fila de pacientes: a estratégia preferida pela administração do BC, utilizando a regra FIFO (*First In First Out*), a estratégia preferida pelos cirurgiões, LIFO (*Last In First Out*), e uma estratégia intermediária entre as duas anteriores, utilizando FIFO no primeiro turno do dia e a regra LIFO no segundo turno do dia. Os autores concluíram que a estratégia preferida pelos cirurgiões apresenta pior resultado que a estratégia da administração, a qual não logrou êxito em sua implantação em um hospital de Portugal devido à resistência das equipes médicas para sua utilização. Van Essen *et al.* (2012) utilizaram IP e métodos heurísticos para distribuir uniformemente o intervalo de conclusão de cirurgias eletivas consecutivas visando diminuir o período de espera de realização de uma possível cirurgia de emergência recém chegada ao BC. Os autores simularam heurísticas tais como SA, *Tabu Search* (TS) e *Shifting Bottleneck* com dados reais de um hospital da Holanda.

Tabela 2.6: Área do BC abordada nas publicações

Área	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total
SC	1	1	2	2	4	3	6	4	6	6	4	3	42
SC/URPA	1	1	0	5	0	3	0	4	3	4	4	0	25
SC/UTI	0	0	3	0	2	0	1	1	1	0	0	2	10
Total	2	2	5	7	6	6	7	9	10	10	9	5	77

Fonte: Os autores

Agnetis *et al.* (2012) compararam três modelos de decisão para alocação de especialidades às SC's com objetivo de aumentar a utilização das mesmas e a pontualidade de realização das cirurgias. Os modelos consideram tempo de espera na fila, prioridade e tempo esperado de realização do procedimento, e data de agendamento. Com objetivo de maximizar a utilização das SC's e minimizar o número de cancelamentos de cirurgias em um hospital universitário

da Itália, Landa *et al.* (2016) compararam quatro estratégias para sequenciar as cirurgias: ID (*increasing duration*), DD (*decreasing duration*), HID (*half increasing duration*) e HDD (*half decreasing duration*). Os autores reportam o desempenho superior da regra DD, similar à regra LPT (*longest processing time*), contudo o método proposto não foi colocado em prática por dificuldade de integração com o sistema de informática do hospital.

As SC's e a URPA foram abordadas por Lee e Yih (2014) que propuseram uma sistemática de duas etapas para determinar o horário de início dos procedimentos nas SC's visando minimizar a falta de leitos da URPA. Na primeira etapa um GA sequencia as cirurgias nas salas e, na segunda etapa, um conjunto de heurísticas baseadas em lógica *fuzzy* determina o horário de início das cirurgias. Os autores utilizaram simulação Monte Carlo (MCS – Monte Carlo *Simulation*) para avaliar os tempos de espera antes e após a realização das cirurgias, variando entre 0,3 e 0,9 a relação entre leitos e SC's. Em outra abordagem utilizando MCS, Latorre-Núñez *et al.* (2016) propuseram um modelo em MIP solucionado com GA e heurísticas para minimizar o makespan nas SC's de um hospital no Chile.

Banditori *et al.* (2013) propuseram um procedimento em duas etapas combinando MIP e simulação para alocar especialidades às SC's em horizonte mensal. O método proposto objetiva maximizar o número de cirurgias realizadas e minimizar a utilização dos leitos da URPA. Beliën *et al.* (2009) propuseram um sistema de suporte à decisão baseado em MIP e SA para alocar especialidades às SC's visando balancear a ocupação de leitos da URPA de um hospital da Bélgica.

As SC's e UTI/leitos foram abordados por Fügener *et al.* (2014) que consideraram o efeito da alocação de especialidades às SC's no fluxo do paciente através das áreas de recuperação pós cirúrgica. Os autores utilizaram *Branch and Bound* (B&B) e SA para minimizar os custos das áreas de internação e UTI, simulando os métodos propostos em diferentes cenários com dados de um hospital da Holanda. Com objetivo de minimizar a capacidade requerida de SC' e leitos da UTI, Dellaert e Jeunet (2017) apresentaram um modelo em MIP resolvido com VNS e heurísticas. Os autores reportam o aumento de 10% do número de cirurgias realizadas com o uso da sistemática proposta em um hospital da Holanda. Com objetivos similares, van Oostrum *et al.* (2008) propuseram um método em duas etapas para alocar especialidades às SC's visando minimizar a capacidade requerida das mesmas e balancear a necessidade de leitos. Na primeira etapa o problema formulado como IP é resolvido com CG e, na segunda etapa, o problema é formulado como MIP.

As relações entre os problemas estudados e as áreas de interesse do BC podem ser vistas na Tabela 2.7. As publicações nas áreas de SC e de SC / URPA vêm recebendo considerável interesse pelo problema SCSP do que o problema MSSP, enquanto que publicações com foco em SC / UTI apresentam similar interesse tanto em MSSP e SCSP. No entanto, poucas publicações abordam os dois problemas simultaneamente, MSSP e SCSP, qualquer que seja a área do BC considerada.

Tabela 2.7: Problema estudado versus área do BC abordada nas publicações

Problema / Área	SC	SC / URPA	SC / UTI	Total
MSSP	9	7	5	21
SCSP	31	17	4	52
Ambos	2	1	1	4
Total	42	25	10	77

Fonte: Os autores

2.3.4 Objetivos da pesquisa

O Quadro 2.6 apresenta as publicações e os objetivos abordados nas pesquisas. Algumas referências aparecem em mais de uma categoria de objetivos devido a pesquisas multiobjetivo realizadas por tais autores.

Tabela 2.8: Objetivos considerados nas publicações

Objetivo	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total
Custos	1	0	0	3	4	2	2	3	5	3	3	1	27
SC	0	1	3	3	0	4	3	3	5	5	4	3	34
UTI/URPA	0	1	3	3	0	1	0	0	1	2	1	1	13
Tempos	1	0	1	0	0	1	2	3	2	2	2	1	15
Outros	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	3

Fonte: Os autores

A Tabela 2.8 mostra que os objetivos baseados em custos e na utilização de capacidade da SC concentram o interesse das pesquisas dentre as publicações selecionadas, enquanto que os objetivos relacionados aos tempos e à UTI/URPA vêm recebendo menor atenção dos pesquisadores.

Com relação ao objetivo de custos, a minimização de horas extras foi abordada por muitos autores (CARDOEN *et al.*, 2009a; FEI *et al.*, 2009; MIN e YIH, 2010a; 2010b; LIU *et al.*,

2011; ZHAO e LI, 2014), enquanto que outros temas como minimização dos custos relacionados ao paciente (MIN e YIH, 2010a; TÀN FANI e TESTI, 2010) e minimização de custos de adiantamento / atraso de cirurgias (MIN e YIH, 2010b; CHOI e WILHELM, 2014) tiveram menor preferência dos autores. Gartner e Kolisch (2014), por sua vez, utilizaram métodos de MIP, com variantes de data de admissão fixa e variável dos pacientes, para maximizar a margem de contribuição obtida com o reembolso dos procedimentos executados.

Quadro 2.6: Objetivos considerados nas publicações

Objetivo	Publicações
Custos	Neyshabouri e Berg (2017), Abedini <i>et al.</i> (2016), Bing-hai <i>et al.</i> (2016), Riise <i>et al.</i> (2016), Aringhieri <i>et al.</i> (2015a), Malik <i>et al.</i> (2015), Wang <i>et al.</i> (2015), Choi e Wilhelm (2014), Fügener <i>et al.</i> (2014), Gartner e Kolisch (2014), Pulido <i>et al.</i> (2014), Zhao e Li (2014), Holte e Mannino (2013), Meskens <i>et al.</i> (2013), Wang <i>et al.</i> (2013), Herring e Herrmann (2012), Mannino <i>et al.</i> (2012), Liu <i>et al.</i> (2011), Shylo <i>et al.</i> (2011), Fei <i>et al.</i> (2009), Min e Yih (2010a; 2010b), Roland <i>et al.</i> (2010), Tàn fani e Testi (2010), Cardoen <i>et al.</i> (2009a), Persson e Persson (2009), Jebali <i>et al.</i> (2006)
Capacidade SC	Dellaert e Jeunet (2017), Marques e Captivo (2017), Penn <i>et al.</i> (2017), Abedini <i>et al.</i> (2016), Landa <i>et al.</i> (2016), Spratt e Kozan (2016), Xiao <i>et al.</i> (2016), Astaraky e Patrick (2015), Castro e Marques (2015), Dios <i>et al.</i> (2015), Marques e Captivo (2015), Saadouli <i>et al.</i> (2015), Cappanera <i>et al.</i> (2014), Lee e Yih (2014), Marques <i>et al.</i> (2012; 2014), M'Hallah e Al-Roomi (2014), Dai <i>et al.</i> (2013), Vijayakumar <i>et al.</i> (2013), Agnetis <i>et al.</i> (2012; 2014), Jeang e Chiang (2012), Gul <i>et al.</i> (2011), Liu <i>et al.</i> (2011), Shylo <i>et al.</i> (2011; 2013), van Oostrum <i>et al.</i> (2008; 2011), Fei <i>et al.</i> (2009), Pariente <i>et al.</i> (2009), Souki e Rebai (2009), Hans <i>et al.</i> (2008), van Houdenhoven <i>et al.</i> (2007; 2008)
Capacidade UTI / URPA	Dellaert e Jeunet (2017), Spratt e Kozan (2016), Aringhieri <i>et al.</i> (2015b), Astaraky e Patrick (2015), Cappanera <i>et al.</i> (2014), Chow <i>et al.</i> (2011), Beliën <i>et al.</i> (2009), Cardoen <i>et al.</i> (2009a; 2009b), van Houdenhoven <i>et al.</i> (2008), van Oostrum <i>et al.</i> (2008), Wang e Xu (2008), Beliën e Demeulemeester (2007)
Tempo de conclusão / folga / ociosidade	Rachuba e Werners (2017), Latorre-Núñez <i>et al.</i> (2016), Luo <i>et al.</i> (2016), Molina-Pariente <i>et al.</i> (2015), Saadouli <i>et al.</i> (2015), Lee e Yih (2014), M'Hallah e Al-Roomi (2014), Banditori <i>et al.</i> (2013), Meskens <i>et al.</i> (2013), Saremi <i>et al.</i> (2013), van Essen <i>et al.</i> (2012), Yin e Xiang (2012), Su <i>et al.</i> (2011), Pham e Klinkert (2008), Kharraja <i>et al.</i> (2006)
Outros	Malik <i>et al.</i> (2015), Ma e Demeulemeester (2013) e Wang <i>et al.</i> (2010)

Fonte: Os autores

Os objetivos relacionados à maximização de capacidade das áreas do BC atraem maior interesse em relação ao objetivo de custos. Chow *et al.* (2011) propuseram um método combinando MIP e MCS para alocar especialidades às SC's visando minimizar a ocupação de leitos de internação, enquanto que Saremi *et al.* (2013) propuseram três heurísticas baseadas em TS para minimizar o cancelamento de cirurgias, o tempo de espera dos pacientes e o tempo de saída do último paciente da URPA. As heurísticas combinando simulação, IP e BIP com TS foram testadas com dados do BC de um hospital do Canadá, compreendendo sala de preparação, SC's e URPA.

Meskens *et al.* (2013) propuseram uma abordagem de CP para otimizar a utilização das SC's através da minimização do *makespan* e de horas extras, e da maximização das afinidades entre os integrantes das equipes médicas. Shylo *et al.* (2013) propuseram um algoritmo baseado em MIP e em uma aproximação normal do tempo de duração acumulado das cirurgias para maximizar a utilização das salas de cirurgia. Van Houdenhoven *et al.* (2007) utilizaram *bin-packing* e técnicas de diversificação de portfólio para programar cirurgias eletivas aos blocos de tempo do MSSP. Os autores consideraram a variabilidade e o tempo esperado de realização das cirurgias, reservando um período de folga, para maximizar a utilização das salas.

Os objetivos podem ser relacionados com o problema e as áreas do BC considerados no estudo. A Tabela 2.9 apresenta essas relações para os objetivos de custo, capacidade de SC e tempos.

Tabela 2.9: Relações entre problemas, áreas do BC e objetivos das publicações

Objetivo	Problema			Área do BC		
	MSSP	SCSP	Ambos	SC	SC / URPA	SC / UTI
Custo	7	19	1	14	9	4
Capac. SC	7	25	2	23	8	3
Tempos	2	13	0	7	6	2

Fonte: Os autores

Observa-se, pelos dados da Tabela 2.9, uma predominância de problemas de SCSP nos três objetivos. Com relação às áreas do BC, os objetivos de custo e de capacidade de SC focam principalmente na SC, enquanto que o foco das publicações com objetivo em tempos apresenta equilíbrio entre a SC e SC / URPA.

2.3.5 Abordagem de solução

O Quadro 2.7 apresenta as abordagens de solução dos problemas considerados nas publicações. Algumas referências aparecem em mais de uma categoria devido a abordagens multiobjetivo realizadas pelos autores.

Quadro 2.7: Abordagens de solução dos problemas considerados nas publicações

Abordagem	Publicações
MIP	Penn <i>et al.</i> (2017), Marques e Captivo (2017), Neyshabouri e Berg (2017), Latorre-Núñez <i>et al.</i> (2016), Luo <i>et al.</i> (2016), Xiao <i>et al.</i> (2016), Dios <i>et al.</i> (2015), Saadouli <i>et al.</i> (2015), Cappanera <i>et al.</i> (2014), Gartner e Kolisch (2014), Pulido <i>et al.</i> (2014), Banditori <i>et al.</i> (2013), Holte e Mannino (2013), Ma e Demeulemeester (2013), Shylo <i>et al.</i> (2013), Vijayakumar <i>et al.</i> (2013), Wang <i>et al.</i> (2013), Mannino <i>et al.</i> (2012), Chow <i>et al.</i> (2011), Min e Yih (2010a), Roland <i>et al.</i> (2010), Beliën <i>et al.</i> (2009), Cardoen <i>et al.</i> (2009a; 2009b), Pariente <i>et al.</i> (2009), Persson e Persson (2009), Souki e Rebai (2009), Pham e Klinkert (2008), van Oostrum <i>et al.</i> (2008), Beliën e Demeulemeester (2007), Jebali <i>et al.</i> (2006)
IP / BIP	Abedini <i>et al.</i> (2016), Bing-hai <i>et al.</i> (2016), Aringhieri <i>et al.</i> (2015a; 2015b), Molina-Pariente <i>et al.</i> (2015), Agnetis <i>et al.</i> (2012; 2014), Dai <i>et al.</i> (2013), Ma e Demeulemeester (2013), Saremi <i>et al.</i> (2013), Jeang e Chiang (2012), Marques <i>et al.</i> (2012), van Essen <i>et al.</i> (2012), Fei <i>et al.</i> (2009), Tãnfani e Testi (2010), Wang <i>et al.</i> (2010), Kharraja <i>et al.</i> (2006)
Heurística	Dellaert e Jeunet (2017), Landa <i>et al.</i> (2016), Riise <i>et al.</i> (2016), Dios <i>et al.</i> (2015), Molina-Pariente <i>et al.</i> (2015), Wang <i>et al.</i> (2015), Vijayakumar <i>et al.</i> (2013), Wang <i>et al.</i> (2013), van Essen <i>et al.</i> (2012), Gul <i>et al.</i> (2011), Su <i>et al.</i> (2011), van Oostrum <i>et al.</i> (2011), Tãnfani e Testi (2010), Hans <i>et al.</i> (2008), Beliën e Demeulemeester (2007), van Houdenhoven <i>et al.</i> (2007)
Simulação	M'Hallah e Al-Roomi (2014), Banditori <i>et al.</i> (2013), Ma e Demeulemeester (2013), Shylo <i>et al.</i> (2011; 2013), Chow <i>et al.</i> (2011)
GA	Malik <i>et al.</i> (2015), Marques e Captivo (2015), Lee e Yih (2014), Marques <i>et al.</i> (2014), Gul <i>et al.</i> (2011), Roland <i>et al.</i> (2010), Wang <i>et al.</i> (2010)
SA	Fügener <i>et al.</i> (2014), van Essen <i>et al.</i> (2012), Beliën <i>et al.</i> (2009), Hans <i>et al.</i> (2008), Beliën e Demeulemeester (2007)
CG	Fei <i>et al.</i> (2009), Cardoen <i>et al.</i> (2009a), van Houdenhoven <i>et al.</i> (2008), van Oostrum <i>et al.</i> (2008)
DP	Herring e Herrmann (2012), Liu <i>et al.</i> (2011), Min e Yih (2010b)
B&B / B&P	Fügener <i>et al.</i> (2014), Cardoen <i>et al.</i> (2009a)
MINLP	Spratt e Kozan (2016), Choi e Wilhelm (2014), Zhao e Li (2014)
CP	Zhao e Li (2014), Meskens <i>et al.</i> (2013)
TS	Saremi <i>et al.</i> (2013), van Essen <i>et al.</i> (2012)
Outros	Rachuba e Werners (2017), Astaraky e Patrick (2015), Castro e Marques (2015), Wang <i>et al.</i> (2015), Yin e Xiang (2012), van Essen <i>et al.</i> (2012), Souki e Rebai (2009), Wang e Xu (2008), Beliën e Demeulemeester (2007)

Fonte: Os autores

As abordagens listadas no Quadro 2.7 são: Programação Inteira Mista (MIP – *Mixed Integer Programming*), Programação Inteira (IP – *Integer Programming*) / Programação Inteira Binária (BIP – *Binary Integer Programming*), Métodos heurísticos, Métodos de simulação, Algoritmo Genético (GA – *Genetic Algorithm*), *Simulated Annealing* (SA), Geração de Colunas (CG – *Column Generation*), Programação Dinâmica (DP – *Dynamic Programming*), *Branch & Bound* / *Branch & Price* (B&B / B&P), Programação Não Linear Inteira Mista (MINLP – *Mixed Integer Nonlinear Programming*), Programação de Restrições (CP – *Constraint Programming*), *Tabu Search* (TS) e, por fim, a categoria outros reúne abordagens com apenas um registro.

As abordagens de solução baseadas em IP, MIP e BIP são as abordagens mais utilizadas entre as publicações. Destacam-se na sequência métodos heurísticos e de simulação, seguidos na preferência dos autores por diversas outras abordagens, tais como metaheurísticas (GA, TS, SA) e CG, entre outras. A Tabela 2.10 apresenta uma relação entre as principais abordagens de solução com os problemas de pesquisa e áreas do BC estudadas.

Tabela 2.10: Relações entre problemas, áreas do BC e principais abordagens de solução

Abordagem	Problema			Área do BC		
	MSSP	SCSP	Ambos	SC	SC / URPA	SC / UTI
MIP	9	20	1	12	13	5
BIP	3	10	3	12	2	2
Heurística	5	11	0	8	6	2

Fonte: Os autores

Observa-se, pelos dados da Tabela 2.10, que as abordagens de solução MIP e BIP são amplamente utilizadas na solução do SCSP do que na solução do MSSP. Contudo, com relação às áreas do BC, os trabalhos com abordagens em BIP concentram o foco na SC, enquanto que as abordagens de solução heurísticas e MIP alternam sua preferência entre as áreas SC e SC/URPA.

2.3.6 Tipo de estudo

O Quadro 2.8 apresenta as publicações categorizadas em três tipos de estudo: teórico, simulado e aplicado. Os estudos teóricos compreendem estudos puramente teóricos e estudos com pouca aplicação de dados para validação do método. Os estudos simulados compreendem trabalhos com aplicação de técnicas de simulação e cenários para validação do trabalho. Por

fim, os estudos aplicados compreendem trabalhos com aplicação de dados reais de hospitais de países como Estados Unidos, Canadá, Holanda, Bélgica, Itália, Portugal, China, França, entre outros.

Quadro 2.8: Estudos considerados nas publicações

Estudo	Publicações
Teórico	Aringhieri <i>et al.</i> (2015b), Choi e Wilhelm (2014), van Oostrum <i>et al.</i> (2010), van Houdenhoven <i>et al.</i> (2008) e Wang e Xu (2008)
Simulado	Dellaert e Jeunet (2017), Marques e Captivo (2017), Neyshabouri e Berg (2017), Penn <i>et al.</i> (2017), Rachuba e Werners (2017), Abedini <i>et al.</i> (2016), Bing-hai <i>et al.</i> (2016), Landa <i>et al.</i> (2016), Latorre-Núñez <i>et al.</i> (2016), Luo <i>et al.</i> (2016), Riise <i>et al.</i> (2016), Spratt e Kozan (2016), Xiao <i>et al.</i> (2016), Aringhieri <i>et al.</i> (2015), Astaraky e Patrick (2015), Dios <i>et al.</i> (2015), Malik <i>et al.</i> (2015), Marques e Captivo (2015), Saadouli <i>et al.</i> (2015), Wang <i>et al.</i> (2015), Cappanera <i>et al.</i> (2014), Lee e Yih (2014), M'Hallah e Al-Roomi (2014), Pulido <i>et al.</i> (2014), Zhao e Li (2014), Ma e Demeulemeester (2013), Herring e Herrmann (2012), Jeang e Chiang (2012), Liu <i>et al.</i> (2011), Su <i>et al.</i> (2011), Min e Yih (2010a; 2010b), Tãnfani e Testi (2010), Souki e Rebai (2009), Jebali <i>et al.</i> (2006) e Kharraja <i>et al.</i> (2006)
Aplicado	Castro e Marques (2015), Molina-Pariente <i>et al.</i> (2015), Agnetis <i>et al.</i> (2012; 2014), Fügener <i>et al.</i> (2014), Gartner e Kolisch (2014), Marques <i>et al.</i> (2012; 2014), Banditori <i>et al.</i> (2013), Dai <i>et al.</i> (2013), Holte e Mannino (2013), Meskens <i>et al.</i> (2013), Saremi <i>et al.</i> (2013), Vijayakumar <i>et al.</i> (2013), Wang <i>et al.</i> (2013), Mannino <i>et al.</i> (2012), van Essen <i>et al.</i> (2012), Yin e Xiang (2012), Chow <i>et al.</i> (2011), Gul <i>et al.</i> (2011), Shylo <i>et al.</i> (2011; 2013), van Oostrum <i>et al.</i> (2008; 2011), Fei <i>et al.</i> (2009), Roland <i>et al.</i> (2010), Wang <i>et al.</i> (2010), Beliën <i>et al.</i> (2009), Cardoen <i>et al.</i> (2009a; 2009b), Pariente <i>et al.</i> (2009), Persson e Persson (2009), Hans <i>et al.</i> (2008), Pham e Klinkert (2008), Beliën e Demeulemeester (2007) e van Houdenhoven <i>et al.</i> (2007)

Fonte: Os autores

A Tabela 2.11 apresenta a evolução das publicações caracterizadas por tipo de estudo. Percebe-se forte viés pela pesquisa com simulação e aplicação de dados reais nos últimos cinco anos, período onde foram publicadas mais da metade do total destas publicações.

Tabela 2.11: Evolução dos tipos de publicações

Estudo	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total
Teórico	0	0	2	0	1	0	0	0	1	1	0	0	5
Simulado	2	0	0	1	3	2	2	1	5	7	8	5	36
Aplicado	0	2	3	6	2	4	5	8	4	2	0	0	36
Total	2	2	5	7	6	6	7	9	10	10	8	5	77

Fonte: Os autores

A Tabela 2.12, por outro lado, apresenta as relações de preferência entre problema e área do BC com os tipos de estudos. Os estudos teóricos focam, em maior parte, no problema MSSP, em sua maioria voltados para a SC. Os estudos simulados e aplicados enfatizaram a abordagem do problema SCSP, ambos com preferência pela SC.

Tabela 2.12: Relações entre problemas, áreas do BC e abordagens de estudo

Estudo	Problema			Área do BC		
	MSSP	SCSP	Ambos	SC	SC / URPA	SC / UTI
Teórico	4	1	0	3	1	1
Simulado	6	26	3	20	10	5
Aplicado	11	24	1	19	13	4

Fonte: Os autores

2.3.7 Síntese dos resultados

Os resultados das categorizações (Quadros 2.4 a 2.8) e das relações entre as publicações e categorias (Tabelas 2.5 a 2.12) permitem identificar os principais temas de interesse dos pesquisadores e lacunas na literatura que possam se tornar oportunidades futuras de pesquisa. Com relação ao problema de pesquisa, cerca de dois terços das publicações focam no problema SCSP, enquanto que o interesse pelo MSSP se mantém estável ao longo dos anos. Contudo, a abordagem simultânea dos problemas MSSP e SCSP apresenta muitas oportunidades, visto que em apenas quatro casos recentes os problemas foram tratados de forma conjunta.

Publicações focadas isoladamente na SC superam as publicações focadas em SC/UTI e SC/URPA somadas. Neste sentido, pesquisas futuras poderiam incluir outras áreas do BC que possam restringir o desempenho das SC's, como a área de preparação de pacientes para a cirurgia, de esterilização de materiais cirúrgicos, entre outras. Em relação aos objetivos de pesquisa, os objetivos relacionados ao desempenho das áreas do BC superem o dobro das publicações com objetivos relacionados a custos, percebe-se número reduzido de publicações cujo objetivo de custos ou desempenho considere também as áreas de UTI e URPA.

As abordagens de solução baseadas em MIP, BIP e IP predominam entre as publicações, porém com maior foco no SCSP. No entanto, enquanto as abordagens de BIP priorizam as SC's as abordagens em MIP e de métodos heurísticos dividem a preferência entre SC's e

SC/URPA. Por fim, os estudos aplicados e simulados são igualmente preferidos pelos pesquisadores com foco maior no SCSP nas SC's.

2.4 CONCLUSÃO

A programação de cirurgias eletivas em BC hospitalar é uma atividade complexa, foco de crescente interesse por pesquisas, pois visa simultaneamente maximizar a utilização de capacidade dos recursos físicos e usar eficientemente os recursos financeiros. Neste sentido, o artigo apresenta uma revisão sistemática da literatura de programação e sequenciamento de cirurgias eletivas em BC hospitalar, com foco nos problemas MSSP e SCSP.

A busca por artigos que abordam os problemas MSSP e SCSP em BC hospitalar, realizada em duas bases de dados, localizou 808 publicações, das quais 131 em duplicidade. Da aplicação dos critérios de exclusão restaram 77 publicações que foram categorizadas por problema de pesquisa, área do BC considerada, objetivos, abordagem de solução e tipo de estudo.

São frequentes as publicações que abordam os problemas MSSP e SCSP, contudo o número de publicações em SCSP representa cerca de dois terços do total de publicações selecionadas para a pesquisa, de forma que há muito espaço para pesquisas futuras com foco no MSSP de forma isolada ou para pesquisas que considerem os dois problemas simultaneamente. Com relação às áreas do BC, o número de publicações com foco isolado na SC supera a soma do número de publicações das outras áreas. Neste sentido, a integração da SC com outras áreas do BC se revela um caminho de pesquisa pouco explorado e com muitas oportunidades para desenvolvimento de novas soluções para os problemas MSSP e SCSP.

A minimização de custos e a maximização da utilização da SC são os objetivos predominantes entre as publicações, as quais solucionaram os problemas utilizando métodos exatos baseados em MIP, IP, BIP e métodos heurísticos. Com relação ao tipo de estudo, as preferências se dividem entre estudos simulados e aplicados, estes últimos com relatos de aplicação de dados reais de hospitais de diversos países, como França, Inglaterra e Estados Unidos, entre outros.

Oportunidades de pesquisas, advindas do estudo atual, devem abordar estudos aplicados que considerem os problemas MSSP e SCSP juntos, integrando áreas do BC, como SC/URPA ou SC/UTI, objetivando atender à demanda de cirurgias eletivas com vistas a reduzir custos operacionais e/ou maximizar a utilização de capacidade dessas áreas do BC.

2.5 REFERÊNCIAS

ABEDINI, A.; YE, H.; LI, W. *Operating room planning under surgery type and priority constraints*. *Procedia Manufacturing* 5 (2016) 15-25

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* 17 (2014) 49-59

_____. *Long term evaluation of operating theater planning policies*. *Operations Research for Health Care* 1 (2012) 95-104

AHMADI-JAVID, A.; JALALI, Z.; KLASSEN, K. J. *Outpatient appointment systems in healthcare: a review of optimization studies*. *European Journal of Operational Research* 258 (2017) 3-34

ALDERSON, P.; GREEN, S.; HIGGINS, J. *Cochrane Reviewers' Handbook 4.2.2*. Chichester, UK: John Wiley and Sons Ltd, 2004

ARINGHIERI, R.; LANDA, P.; SORIANO, P.; TÂN FANI, E.; TESTI, A. *A two level metaheuristic for the operating room scheduling and assignment problem*. *Computers & Operations Research* 54 (2015a) 21-34

ARINGHIERI, R.; LANDA, P.; TÂN FANI, E. *Assigning surgery cases to operating rooms: a VNS approach for leveling ward beds occupancies*. *Electronic Notes in Discrete Mathematics* 47 (2015b) 173-180

ASTARAKY, D.; PATRICK, J. *A simulation based approximate dynamic programming approach to multi-class, multi-resource surgical scheduling*. *European Journal of Operational Research* 245 (2015) 309-319

BANDITORI, C.; CAPPANERA, P.; VISINTIN, F. *A combined optimization-simulation approach to the master surgical scheduling problem*. *Journal of Management Mathematics* 24 (2013) 155-187

BELIËN, J.; DEMEULEMEESTER, E. *Building cyclic master surgery schedules with leveled resulting bed occupancy.* European Journal of Operational Research 176 (2007) 1185-1204

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

BERTSIMAS, D.; GUPTA, S.; LULLI, G. *Dynamic resource allocation: A flexible and tractable modeling framework.* European Journal of Operational Research 236 (2014) 14-26

BING-HAI, Z.; MENG, Y.; ZHI-QIANG, L. *An improved Lagrangian relaxation heuristic for the scheduling problem of operating theatres.* Computers & Industrial Engineering 101 (2016) 490-503

BIOLCHINI, J.; MIAN, P. G.; NATALI, A. C. C.; TRAVASSOS, G. H. *Systematic Review in Software Engineering.* Technical Report RT-ES 679/05. Rio de Janeiro, 2005

CAPPANERA, P.; VISINTIN, F.; BANDITORI, C. *Comparing resource balancing criteria in master surgical scheduling: a combined optimisation-simulation approach.* International Journal of Production Economics 158 (2014) 179-196

CARDOEN, B.; DEMEULEMEESTER, E.; BELIËN, J. *Sequencing surgical cases in a day-care environment: An exact Branch-and-price approach.* Computers & Operations Research 36 (2009a) 2660-2669

_____. *Optimizing a multiple objective surgical case sequencing problem.* International Journal of Production Economics 119 (2009b) 354-366

_____. *Operating room planning and scheduling: a literature review.* European Journal of Operational Research 201 (2010) 921-932

CASTRO, P. M.; MARQUES, I. *Operating room scheduling with generalized disjunctive programming.* Computers & Operations Research 64 (2015) 262-273

CHOI, S.; WILHELM, W. E. *An approach to optimize block surgical schedules.* European Journal of Operational Research 235 (2014) 138-148

CHOW, V. S.; PUTERMAN, M. L.; SALEHIRAD, N.; HUANG, W.; ATKINS, D. *Reducing surgical ward congestion through improved surgical scheduling and uncapacitated simulation.* Production and Operations Management v.20 3 (2011) 418-430

DAI, L.; LI, Z.; ZHAO, L. *Application of integer programming in the surgical scheduling.* Proceedings of 2nd International Conference on Logistics and Service Science (2013) 553-561

DELLAERT, N.; JEUNET, J. *A variable neighborhood search algorithm for the surgery tactical planning problem.* Computers & Operations Research 84 (2017) 216-225

DEMEULEMEESTER, E.; BELIËN, J.; CARDOEN, B.; SAMUDRA, M. *Operating Room Planning and Scheduling.* Handbook of Healthcare Operations Management: Methods and Applications 121-152. New York: Springer, 2013

DIOS, M.; MOLINA-PARIENTE, J. M.; FERNANDEZ-VIAGAS, V.; ANDRADE-PINEDA, J. L. *A decision support system for operating room scheduling.* Computers & Industrial Engineering 88 (2015) 430-443

ESSEN, J. T. van; HANS, E. W.; HURINK, J. L.; OVERSBERG, A. *Minimizing the waiting time for emergency surgery.* Operations Research for Health Care 1 (2012) 34-44

FEI, H.; MESKENS, N.; COMBES, C.; CHU, C. *The endoscopy scheduling problem: a case study with two specialised operating rooms.* International Journal of Production Economics 120 (2009) 452-462

FÜGENER, A.; HANS, E. W.; KOLISCH, R.; KORTBEEK, N.; VANBERKEL, P. T. *Master surgery scheduling with consideration of multiple downstream units.* European Journal of Operational Research 239 (2014) 227-236

GARTNER, D.; KOLISCH, R. *Scheduling the hospital wide flow of elective patients.* European Journal of Operational Research 233 (2014) 689-699

GUERRIERO, F.; GUIDO, R. *Operational research in the management of the operating theatre: a survey.* Health Care Management Science 14 (2011) 89-114

GUL, S.; DENTON, B. T.; FOWLER, J. W.; HUSCHKA, T. *Bi-criteria scheduling of surgical services for an outpatient procedure center.* Production and Operations Management v.20 3 (2011) 406-417

HANS, E.; WULLINK, G.; HOUDENHOVEN, M. V.; KAZEMIER, G. *Robust surgery loading.* European Journal of Operational Research 185 (2008) 1038-1050

HERRING W. L.; HERRMANN, J. W. *The single-day surgery scheduling problem: sequential decision-making and threshold-based heuristics.* OR Spectrum 34 (2012) 429-459

HOLTE, M.; MANNINO, C. *The implementor/adversary algorithm for the cyclic and robust scheduling problem in health care.* European Journal of Operational Research 226 (2013) 551-559

HOUDENHOVEN, M. V.; OOSTRUM, J. M. V.; HANS, E.; WULLINK, G.; KAZEMIER, G. *Improving operating room efficiency by applying bin-packing and portfolio techniques to surgical case scheduling.* Anesthesia and Analgesia 3 (2007) 707-714

HOUDENHOVEN, M. V.; OOSTRUM, J. M. V.; WULLINK, G.; HANS, E.; HURINK, J. L.; BAKKER, J.; KAZEMIER, G. *Fewer intensive care unit refusals and a higher capacity utilization by using a cyclic surgical case schedule.* Journal of Critical Care 23 (2008) 222-226

JEANG, A.; CHIANG, A. *Economic and quality scheduling for effective utilization of operating rooms.* Journal of Medical Systems 36 (2012) 1205-1222

JEBALI, A.; ALOUANE, A. B. H.; LADET, P. *Operating rooms scheduling.* International Journal of Production Economics 99 (2006) 52-62

KHARRAJA, S.; ALBERT, P.; CHAABANE, S. *Block scheduling: toward a master surgical schedule.* Proceedings of International Conference on Service Systems and Service Management, Vols 1 and 2, 2006

LANDA, P.; ARINGHIERI, R.; SORIANO, P.; TÂNFIANI, E.; TESTI, A. *A hybrid optimization algorithm for surgeries scheduling.* Operations Research for Health Care 8 (2016) 103-114

LATORRE-NÚÑEZ, G.; LÜER-VILLAGRA, A.; MARIANOV, V.; OBREQUE, C.; RAMIS, F.; NERIZ, L. *Scheduling operating rooms with consideration of all resources, post anesthesia beds and emergency surgeries.* Computers & Industrial Engineering 97 (2016) 248-257

LEE, S.; YIH, Y. *Reducing patient-flow delays in surgical suites through determining start-times of surgical cases.* European Journal of Operational Research 238 (2014) 620-629

LIBERATI, A.; ALTMAN, D.; TETZLAFF, J.; MULROW, C.; GOTZCHE, P. C.; LOANNIDIS, J. P. A.; CLARKE, M.; DEVEREAUX, P. J.; KLEIJNEN, J.; MOHER, D. *The PRISMA Statement for Reporting Systematic Reviews and Meta-Analyses of Studies That Evaluate Health Care Interventions: Explanation and Elaboration.* PLoS Medicine 6 (2009) 1-28

LIU, Y.; CHU, C.; WANG, K. *A new heuristic algorithm for the operating room scheduling problem.* Computers & Industrial Engineering 61 (2011) 865-871

LUO, L.; LUO, Y.; YOU, Y.; CHENG, Y.; SHI, Y.; GONG, R. *A MIP model for rolling horizon surgery scheduling.* Journal of Medical Systems 40 (2016) 127

MA, G.; DEMEULEMEESTER, E. *A multilevel integrative approach to hospital case mix and capacity planning.* Computers & Operations Research 40 (2013) 2198-2207

MACPHERSON, A.; HOLT, R. *Knowledge, learning and small firm growth: A systematic review of the evidence.* Research Policy 36 (2007) 172-192

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

MANNINO, C.; NILSSEN, E. V.; NORDLANDER, T. E. *A pattern based, robust approach to cyclic master surgery scheduling.* Journal of Scheduling 15 (2012) 553-563

MARQUES, I.; CAPTIVO, M. E. *Bicriteria elective surgery scheduling using an evolutionary algorithm.* Operations Research for Health Care 7 (2015) 14-26

_____. *Different stakeholders' perspective for a surgical case assignment problem: deterministic and robust approach.* European Journal of Operational Research 261 (2017) 260-278

MARQUES, I.; CAPTIVO, M. E.; PATO, M. V. *Scheduling elective surgeries in a Portuguese hospital using a genetic heuristic.* Operations Research for Health Care 3 (2014) 59-72

_____. *An integer programming approach to elective surgery scheduling.* OR Spectrum 34 (2012) 407-427

MESKENS, N.; DUDIVIER, D.; HANSET, A. *Multi-objective operating room scheduling considering desiderata of the surgical team.* Decision Support Systems 55 (2013) 650-659

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

MIN, D.; YIH, Y. *Scheduling elective surgery under uncertainty and downstream capacity constraints.* European Journal of Operational Research 206 (2010a) 642-652

_____. *An elective surgery scheduling problem considering patient priority.* Computers & Operations Research 37 (2010b) 1091-1099

MOLINA-PARIENTE, J. M.; HANS, E. W.; FRAMINAN, J. M.; GOMEZ-CIA, T. *New heuristics for planning operating rooms.* Computers & Industrial Engineering 90 (2015) 429-443

MORTON, T. E.; PENTICO, D. W. *Heuristic Scheduling Systems: with applications to production systems and project management.* New York: John Wiley and Sons, 1993

NEYSHABOURI, S.; BERG, B. P.; *Two-stage robust optimization approach to elective surgery and downstream capacity planning*. European Journal of Operational Research 260 (2017) 21-40

OOSTRUM, J. M. V.; BREDENHOFF, E.; HANS, E. W. *Suitability and managerial implications of a master surgical scheduling approach*. Annals of Operations Research 178 (2010) 91-104

OOSTRUM, J. M. V.; HOUDENHOVEN, M. V.; HURINK, J. L.; HANS, E. W.; WULINK, G.; KAZEMIER, G. *A master surgical scheduling approach for cyclic scheduling in operating room departments*. OR Spectrum 30 (2008) 355-374

OOSTRUM, J. M. V.; PARLEVLIT, T.; WAGELMANS, A. P. M.; KAZEMIER, G. *A method for clustering surgical cases to allow master surgical scheduling*. INFOR 2011 1-14

PARIENTE, J. M. M.; TORRES, J. M. F.; CIA, T. G. *Policies and decision models for solving elective case operating room scheduling*. CIE: 2009 International Conference on Computers and Industrial Engineering, Vols 1-3 pp.112-117

PENN, M. L.; POTTS, C. N.; HARPER, P. R.; *Multiple criteria mixed-integer programming for incorporating multiple factors into the development of master operating theatre timetables*. European Journal of Operational Research 262 (2017) 194-206

PERSSON, M.; PERSSON, J. A. *Health economic modeling to support surgery management at a Swedish hospital*. Omega 37 (2009) 853-863

PHAM, D. N.; KLINKERT, A. *Surgical case scheduling as a generalized job shop scheduling problem*. European Journal of Operational Research 185 (2008) 1011-1025

PINEDO, M. L. *Planning and Scheduling in Manufacturing and Services*. New York: Springer, 2005

_____. *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems*. New York: Springer, 2012

PULIDO, R.; AGUIRRE, A. M.; ORTEGA-MIER, M.; GARCÍA-SÁNCHEZ, A.; MÉNDEZ, C. A. *Managing daily surgery schedules in a teaching hospital: a mixed-integer optimization approach.* BMC Health Services Research 14 (2014) 464

RACHUBA, S.; WERNERS, B. *A fuzzy multi-criteria approach for robust operating room schedules.* Annals of Operations Research 251 (2017) 325-350

RIISE, A.; MANNINO, C.; BURKE, E. K. *Modelling and solving generalised operational surgery scheduling problems.* Computers & Operations Research 66 (2016) 1-11

ROLAND, B.; MARTINELLI, C.; RIANE, F.; POCHE, Y. *Scheduling an operating theatre under human resource constraints.* Computers & Industrial Engineering 58 (2010) 212-220

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 80 (2015) 72-79

SAREMI, A.; JULA, P.; ELMKAWY, T.; WANG, G. G. *Appointment scheduling of outpatient surgical services in a multistage operating room department.* International Journal of Production Economics 141 (2013) 646-658

SHYLO, O.V.; LUANGKESORN, L.; PROKOPYEV, O. A.; RAJGOPAL, J.; SCHAEFER, A. *Managing patient backlog in a surgical suite that uses a block-booking scheduling system.* Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference 1319-1329

SHYLO, O.V.; PROKOPYEV, O. A.; SCHAEFER, A. *Stochastic operating room scheduling for high-volume specialties under block booking.* INFORMS Journal of Computing 4 (2013) 682-692

SOUKI, M.; REBAI, A. *Memetic differential evolution algorithm for operating room scheduling.* CIE: 2009 International Conference on Computers and Industrial Engineering, Vols 1-3 pp.845-850

SPRATT, B.; KOZAN, E. *Waiting list management through master surgical schedules: a case study.* Operations Research for Health Care 10 (2016) 49-64

SU, M.; LAI, S.; WANG, P.; HSIEH, Y.; LIN, S. *A SOMO-based approach to the operating room scheduling problem.* Expert Systems with Applications 38 (2011) 15447-15454

TÀNFANI, E.; TESTI, A. *A pre-assignment heuristic algorithm for the master surgical scheduling problem (MSSP).* Annals of Operations Research 178 (2010) 105-119

VIJAYAKUMAR, B.; PARIKH, P. J.; SCOTT, R.; BARNES, A.; GALLIMORE, J. *A dual bin-packing approach to scheduling surgical cases at a publicly-funded hospital.* European Journal of Operational Research 224 (2013) 583-591

XIAO, G.; JAARVELD, W.; DONG, M.; KLUNDERT, J. *Stochastic programming analysis and solutions to schedule overcrowded operating rooms in China.* Computers & Operations Research 74 (2016) 78-91

WANG, Y.; TANG, J.; PAN, Z.; YAN, C. *Particle swarm optimization-based planning and scheduling for a laminar-flow operating room with downstream resources.* Soft Computing 19 (2015) 2913-2926

WANG, D.; XU, J. *A fuzzy multi-objective optimizing scheduling for operation room in hospital.* IEEM: 2008 International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Vols 1-3 pp.614-618

WANG, Y.; MIAO, Y.; ZHU, H.; TANG, J. *A particle swarm algorithm on the surgery scheduling problem with downstream process.* 2013 25th Chinese Control and Decision Conference 850-855

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

YIN, J.; XIANG, W. *Ant colony algorithm for surgery scheduling problem.* Advances in Swarm Intelligence, ICSI 2012, PT I pp.198-205

ZHAO, Z.; LI, X. *Scheduling elective surgeries with sequence-dependent setup times to multiple operating rooms using constraint programming.* Operations Research for Health Care 3 (2014) 160-167

3 IMPACTOS DA PROGRAMAÇÃO DE CIRURGIAS NA UTILIZAÇÃO DOS RECURSOS FÍSICOS DO BLOCO CIRÚRGICO HOSPITALAR

Guilherme V. Etcheverry, guilherme_etcheverry@yahoo.com.br

Michel J. Anzanello, *Ph.D.*, michel.anzanello@gmail.com

Resumo

Este artigo apresenta uma pesquisa qualitativa que visa a identificar impactos da programação de cirurgias eletivas na utilização dos recursos físicos do bloco cirúrgico (BC) hospitalar. Entrevistas individuais e de grupo focado realizadas com um cirurgião e com especialistas das áreas de apoio de BC's de hospitais da região de Porto Alegre identificam fatores que impactam no fluxo de pacientes e na utilização dos recursos físicos do BC, como salas de cirurgia (SC's) e leitos de recuperação pós-anestésica. Frequentes alterações da programação de cirurgias, realizada pelas equipes cirúrgicas, afetam negativamente a ocupação das SC's, em função de modificações do quadro clínico de pacientes, pela chegada de pacientes em estado de urgência ou emergência ao BC e pela indisponibilidade temporária de leitos de recuperação pós-anestésica. A base conceitual obtida com a pesquisa alicerça a sequência da investigação, tanto em abordagem quantitativa como qualitativa. Em abordagem quantitativa, a pesquisa destinou-se ao desenvolvimento de um modelo de programação de cirurgias eletivas que contemple decisões de programação operacionais e táticas para uso eficiente dos recursos físicos do BC e, em abordagem qualitativa, estende-se a pesquisa atual investigando características relativas aos pacientes e suas enfermidades para identificar um nível adequado de priorização de seu procedimento cirúrgico.

Palavras-chaves: Pesquisa qualitativa, programação de cirurgias, recursos físicos, bloco cirúrgico

Abstract

This article presents a qualitative research which aims to identify impacts of the elective surgeries sequencing in the occupation of operating theatre's (OT's) physical resources. Individual interviews and focus group performed with a surgeon and experts from surgical supporting areas from OT's in the region of Porto Alegre identified the OT's resource utilisation is impacted by frequent alterations in the original sequence of surgeries, mainly by temporary unavailability of post anaesthesia recovery beds,

alterations in patient's clinical conditions and due to the arrival of urgent or emergency patients. The research has provided additional insights for further quantitative and qualitative approaches. The quantitative approach seeks to develop an elective surgeries programming model comprising operational and tactical decision levels for efficient utilisation of OT's physical resources. The qualitative approach aims at investigating relevant patient's characteristics for defining a proper prioritisation level according to the surgical procedure.

Keywords: *Qualitative research, surgeries scheduling, physical resources, operating theatre*

3.1 INTRODUÇÃO

As empresas gerenciam seus recursos produtivos visando a atender a demanda de seus clientes por produtos e serviços. Na busca da eficiência dos processos da operação, a empresa aloca demandas aos recursos e monitora a execução das atividades planejadas. Neste sentido, a administração de um bloco cirúrgico (BC) hospitalar busca alocar de forma eficiente seus recursos físicos e humanos para atender à demanda de cirurgias eletivas das especialidades cirúrgicas atuantes no BC (CORRÊA e GIANESI, 1996; CORRÊA *et al.* 1999; CARDOEN *et al.*, 2010; DEMEULEMEESTER *et al.*, 2013; BERTSIMAS *et al.*, 2014).

As decisões de programação são fundamentais para o desempenho operacional e financeiro de um hospital. Tipicamente, após a admissão ao BC, o paciente de uma cirurgia eletiva é encaminhado para a área pré-operatória e, posteriormente, conduzido à sala de cirurgia (SC). Ao final do procedimento cirúrgico, o paciente é encaminhado a um leito de recuperação da unidade de recuperação pós-anestésica (URPA), leito de internação ou, conforme seu estado clínico, para um leito do centro de tratamento intensivo (CTI). A questão central é sincronizar o uso dos diferentes recursos requeridos simultaneamente, como SC's, leitos, equipamentos e equipes cirúrgicas, visando a elevar a taxa de utilização dos recursos físicos através da eliminação, ou pelo menos redução, de períodos ociosos e de períodos de trabalho adicionais da força de trabalho (CARDOEN *et al.*, 2010; DEMEULEMEESTER *et al.*, 2013; BERTSIMAS *et al.*, 2014).

Neste contexto, este artigo apresenta uma pesquisa de abordagem qualitativa realizada em um hospital universitário, um hospital público e um hospital privado, todos da região de Porto Alegre, visando a identificar os impactos causados pelo sequenciamento das cirurgias nas

SC's na ocupação das SC's e dos leitos de recuperação da URPA. A pesquisa é conduzida com especialistas das áreas de apoio do BC do hospital universitário e com o cirurgião líder das equipes de cirurgia endócrina do hospital público e do hospital privado. Nos BC's dos três hospitais a programação de cirurgias eletivas é realizada pelas equipes cirúrgicas, as quais tipicamente utilizam critérios clínicos e/ou preferências individuais dos cirurgiões para determinar a sequência de realização das cirurgias, sem considerar os impactos deste sequenciamento na ocupação das SC's e dos leitos de recuperação da URPA. A identificação de tais impactos visa a aumentar o conhecimento acerca das relações entre as decisões de programação operacionais e seus efeitos na utilização dos recursos físicos do BC, com vistas à criação de modelos quantitativos de programação de cirurgias eletivas que considerem tais impactos na elaboração da sequência de realização das cirurgias.

A pesquisa utiliza como roteiro um questionário semiestruturado aplicado aos respondentes através de entrevistas individuais e grupos focados, métodos de coleta de dados de ampla utilização em pesquisas qualitativas. Os dois métodos são combinados visando a explorar em profundidade a experiência dos entrevistados, para confirmar ou esclarecer os relatos dos participantes, assim como para aumentar a compreensão, confiabilidade e validade da pesquisa (THOMPSON e WALKER, 1998; CRESWELL e MILLER, 2000; RIBEIRO e MILAN, 2007; CRESWELL, 2009; PETTY *et al.*, 2012a; 2012b).

As pesquisas quantitativas são dominantes na área de programação empregando métodos otimizantes, heurísticas complexas e métodos de simulação para auxiliar as decisões dos programadores de produção. Contudo, não se verifica a mesma demanda por pesquisas de abordagem qualitativa. Foram identificadas na literatura apenas duas referências relativas a pesquisas qualitativas em programação, porém, nenhuma delas endereça os propósitos da pesquisa em questão. Baumgartner *et al.* (2008) realizaram entrevistas individuais com especialistas em fretes rodoviários para aprimorar a alocação e sequenciamento dos recursos visando o melhor aproveitamento da capacidade dos veículos e redução do consumo de combustível, enquanto que Kerr e Ebsary (1988) entrevistaram especialistas de pequenas empresas para criar um sistema computadorizado que contemple critérios adequados para simular decisões de alocação e sequenciamento em empresas desse porte.

A escolha do BC de um hospital para aplicação da pesquisa se justifica pelo intenso fluxo de pacientes e profissionais e pelo fato de que o BC é a área do hospital com as maiores receitas e custos operacionais. Os três hospitais participantes da pesquisa realizam anualmente milhares de procedimentos cirúrgicos de diversas especialidades cirúrgicas, além de

transplantes, consultas e exames. Neste cenário de complexidade, os métodos de programação de cirurgias são igualmente complexos, impactando na utilização eficiente dos recursos físicos disponíveis, caso estes não estejam adequadamente alocados para atender suas respectivas demandas (GUERRIERO e GUIDO, 2011; HULSHOF *et al.*, 2012; DEMEULEMEESTER *et al.*, 2013; BERTSIMAS *et al.*, 2014).

3.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta seção apresenta as duas etapas de realização da pesquisa qualitativa, ambas utilizando um questionário semiestruturado como roteiro. Na primeira etapa são realizadas entrevistas individuais e, na segunda etapa, é realizado um grupo focado com os mesmos respondentes das entrevistas individuais. A realização do grupo focado na sequência das entrevistas individuais objetiva aprofundar a discussão acerca das principais ideias advindas das entrevistas e explorar novos aspectos do tema de pesquisa.

Quadro 3.1: Questionário semiestruturado

Partes	Questões
Identificação do respondente e de suas competências	1) Qual sua função ou posto de trabalho no hospital?
	2) Há quanto tempo você desempenha essa função?
	3) Quando você iniciou na função foi solicitada alguma competência específica para o desempenho da função?
	4) Você recebeu algum treinamento para exercer sua função (treinamento formal em sala de aula, acompanhamento das tarefas do antecessor, etc)?
	5) Descreva as etapas do processo sob sua responsabilidade
Identificação do método atual e dos recursos utilizados	6) Você utiliza algum sistema computadorizado para realizar suas atividades? Qual?
	7) Qual o critério de decisão utilizado para priorizar uma atividade em um recurso específico?
	8) Uma vez escolhido o recurso, qual o critério de decisão utilizado para sequenciar os serviços nesse recurso?
Identificação de aspectos adicionais ao ambiente de programação de cirurgias	9) Quais fatores (com relação à programação de cirurgias) que interferem ou perturbam sua atividade?
	10) O que você gostaria que existisse (ou ocorresse) com relação à programação de cirurgias para melhorar a atividade que você realiza?

Fonte: Os autores

O questionário semiestruturado do Quadro 3.1, utilizado como roteiro das entrevistas individuais, divide-se em três partes: (i) identificação do respondente e de suas competências (questões 1 a 4), (ii) identificação do método atual e dos recursos utilizados (questões 5 a 8) e (iii) identificação de questões adicionais ao ambiente em estudo (questões 9 e 10). As partes do questionário podem ser aplicadas em outras áreas de interesse, pois as questões são de fácil adaptação a outros problemas de pesquisa.

As entrevistas individuais e o grupo focado são realizados nas dependências do hospital universitário, enquanto que a entrevista com o cirurgião endócrino, que atua no hospital público e no hospital privado, é realizada nas dependências de atendimento clínico do cirurgião. O registro de áudio das etapas da coleta de dados é realizado com um telefone móvel e, ao final, os relatos dos entrevistados são transcritos, sintetizados e analisados, visando identificar similaridades, padrões de comportamento ou relações entre eles (RIBEIRO e MILAN, 2007). Por uma questão de continuidade, o questionário semiestruturado utilizado no grupo focado, fruto dos desdobramentos das entrevistas individuais, é apresentado na seção 3.3.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa no hospital universitário foi realizada com uma amostra intencional de três pessoas das áreas de apoio do BC, impactadas pela programação das cirurgias. Os dados das entrevistas individuais são descritos na ordem de realização das questões. Para facilitar sua apresentação, os dados foram divididos em três quadros, Quadros 3.2, 3.3 e 3.4, de acordo com as partes do questionário, seguidos de sua respectiva interpretação.

O BC do hospital universitário é formado por 12 SC's para cirurgias eletivas, uma SC para cirurgias de urgência ou emergência e 18 leitos de recuperação pós-anestésico da URPA, além das áreas de enfermaria, farmácia, banco de sangue e a central de materiais esterilizados (CME). As cirurgias são realizadas cinco dias por semana em três turnos de seis horas, enquanto que a URPA opera ininterruptamente.

O Quadro 3.2 mostra que os respondentes exercem funções em áreas de trabalho que suportam a realização da escala cirúrgica e suas rotinas de trabalho são substancialmente impactadas por alterações na mesma. O tempo de exercício da função difere pouco entre os respondentes e, com relação ao treinamento, todos receberam o treinamento básico em rotinas administrativas do hospital.

Quadro 3.2: Respostas da parte de identificação do respondente e de suas competências

Questões	Respondente 1	Respondente 2	Respondente 3
1 (Função exercida)	Enfermeira Assistencial do CME	Chefia de Enfermagem	Administração do BC, CME e Centro Cirúrgico Ambulatorial
2 (Experiência na função)	2,5 anos	8 anos	6 anos
3 (Requisitos exigidos para a função)	Sim, gerenciamento de processos em CME.	Nenhuma	Nenhuma
4 (Treinamento recebido para a função)	Nenhum, apenas como proceder com rotinas administrativas do hospital	Sim, treinamento inicial de capacitação orienta o trabalho da enfermagem e enfatiza o perfil da enfermeira para atuação no BC	Nenhum, apenas como proceder com rotinas administrativas do hospital

Fonte: Os autores

As respostas da segunda etapa do questionário no Quadro 3.3, identificação dos métodos atuais e dos recursos utilizados, evidenciam a emissão da escala cirúrgica é o ponto de partida das atividades dos três respondentes. Os respondentes 1 e 2 iniciam suas atividades participando de uma reunião multifuncional para analisar criticamente a escala cirúrgica e sugerir alterações caso haja impossibilidade de prover algum recurso requisitado na escala.

Quadro 3.3: Respostas da etapa de identificação dos métodos e recursos utilizados

Questões	Respondente 1	Respondente 2	Respondente 3
5 (etapas da atividade)	Inventário e avaliação de instrumentais cirúrgicos utilizados nas cirurgias, preparo para limpeza, envio para o CME. Limpeza (manual ou automatizada), secagem, seleção, montagem e inspeção de bandejas, esterilização.	Participa da análise crítica da escala de cirurgias e provém para as salas de cirurgia todo o material necessário para a realização dos procedimentos cirúrgicos	Prover a distribuição de recursos como leitos de internação e CTI, equipamentos, órteses, próteses entre outros.
6 (Utilização de software)	Não utiliza	Não utiliza	Utiliza um <i>software</i> de padrão nacional em gestão de hospitais universitários
7 (Critério de priorização)	A sequência da escala cirúrgica	A sequência da escala cirúrgica	Demandas de urgência e emergência
8 (Critério de sequenciamento)	Realizado pelas equipes cirúrgicas	Realizado pelas equipes cirúrgicas	Não aplicável

Fonte: Os autores

O respondente 3, por sua vez, atua principalmente em aspectos ligados ao processo e à estrutura para realização das cirurgias, tais como disponibilização emergencial de equipamentos, leitos de internação ou de CTI. Os respondentes desconhecem os critérios de priorização utilizados pelas equipes cirúrgicas para gerar a escala, assim como os critérios utilizados na determinação da ordem de execução dos procedimentos cirúrgicos.

Quadro 3.4: Respostas das questões sobre aspectos adicionais ao ambiente de programação

Questões	Respondente 1	Respondente 2	Respondente 3
9 (Fatores de interferência)	Alterações da escala cirúrgica geram alterações de prioridades, processos manuais do CME	Solicitações de materiais e equipamentos não previstos e trocas imprevistas na preparação de salas de cirurgia devido a alterações na escala cirúrgica	Chegada de pacientes em urgência ou emergência, transplantes, complicações pós-operatórias, indisponibilidade de leitos
10 (O que pode ser feito para melhorar)	Implantar rastreabilidade dos instrumentais do CME para reduzir tempo de resposta a alterações de escala.	Desenvolver um <i>software</i> que atualize a situação das salas de cirurgias, leitos de recuperação e status do paciente no BC. Melhorar o planejamento das equipes cirúrgicas.	Um sistema informações clínicas e de localização do paciente no hospital. Gestão visual das salas do BC e leitos da URPA

Fonte: Os autores

Os fatores de interferência citados pelo respondente 3 que ocasionam alteração da escala cirúrgica se referem à chegada de pacientes em estado de urgência ou emergência e a indisponibilidade de leitos das alas do hospital em situações de complicação pós-operatória. Os efeitos de tais fatores são identificados pelos respondentes 1 e 2 na forma de alterações de prioridades do CME e retrabalho de montagem de SC's, por parte da enfermagem do BC. Para aprimoramento do processo, os respondentes sugerem, além de melhorar o planejamento da equipe cirúrgica, criar um sistema de rastreabilidade do paciente com informações clínicas e cadastrais durante sua estada no hospital (respondente 3), um sistema que informe a situação atual de SC's e leitos de recuperação (respondente 2) e que rastreie os instrumentais cirúrgicos ao longo do processo do CME (respondente 1).

Dos relatos das entrevistas individuais forma-se o questionário semiestruturado do grupo focado, mostrado no Quadro 3.5. O questionário do grupo focado contempla apenas as etapas 2 e 3 do questionário utilizado nas entrevistas individuais, mostrado no Quadro 3.1.

Com relação à questão 1, os respondentes acreditam que as mudanças na escala são consequência de um ambiente extremamente dinâmico onde as alterações de condição clínica dos pacientes representam o principal fator de influência. Além desse motivo, os respondentes também citaram alterações no plano terapêutico do paciente, não comparecimento ao hospital, alterações de prioridades realizadas pelos cirurgiões e, até mesmo, esquecimento por parte dos

residentes em incluir um paciente na escala como outros fatores responsáveis pelas alterações na escala cirúrgica.

Quadro 3.5: Questionário semiestruturado para o grupo focado

Etapas	Questões
Identificação do método atual e dos recursos utilizados	1) As alterações da escala cirúrgica são geradas pelas equipes médicas ou pela chegada de paciente em urgência ou emergência. Em sua opinião quais são os motivos para as alterações de escala realizadas pelas equipes cirúrgicas? 2) Quais características relativas ao paciente e sua enfermidade poderiam ser utilizadas para identificar um nível adequado de priorização de seu procedimento cirúrgico (tempo de espera, gravidade, complexidade do procedimento, etc)?
Identificação de aspectos adicionais ao ambiente de programação de produção	3) Quais recursos do hospital (leitos, salas de cirurgia, equipamentos, instrumentação cirúrgica, profissionais) limitam a capacidade do BC em realizar mais cirurgias ao dia? 4) Todos sugerem a criação de um <i>software</i> de gestão operacional do BC. A inclusão nesse <i>software</i> das características do paciente para identificação de prioridade, citadas na questão 2, e dos recursos limitantes do BC, citados na questão 3, seriam eficientes para minimizar ou eliminar as alterações na escala cirúrgica?

Fonte: Os autores

Por outro lado, ao responder a questão 2, os respondentes entendem que esta pergunta deveria ser direcionada às equipes médicas em função de que avaliações específicas do contexto clínico de cada paciente, determinam a prioridade de realização do procedimento cirúrgico. Com relação aos recursos do hospital (questão 3), os respondentes consensuam que o principal fator para cancelamento de cirurgias é a indisponibilidade de leitos da URPA, que apresenta, ao longo dos turnos de trabalho, períodos alternados de ociosidade e de ocupação máxima de seus leitos, impedindo ou retardando a realização de cirurgias já programadas. A falta temporária de instrumental cirúrgico, por sua vez, é responsável pelo adiamento de cirurgias, mas não pelo seu cancelamento, visto que usualmente o tempo mínimo necessário para disponibilizar instrumentais cirúrgicos anteriormente utilizados para novas cirurgias é de quatro horas.

A questão 4 objetiva identificar os potenciais benefícios da criação de um programa computadorizado de programação de cirurgias. Nesse sentido, os respondentes acreditam que um programa computadorizado adequadamente parametrizado seria uma ferramenta útil para tomada de decisões em menor tempo, além de melhorar o planejamento das equipes cirúrgicas e a comunicação entre as áreas envolvidas na programação e execução dos procedimentos cirúrgicos. Contudo, apesar de potencialmente auxiliar na previsibilidade e prevenção de ocorrência de problemas frequentes, os respondentes entendem que poderiam opinar com

maior convicção sobre os benefícios do programa computadorizado somente após utilizar uma versão piloto do mesmo.

Em síntese, percebe-se que a programação de cirurgias é realizada pelas equipes cirúrgicas apenas na véspera de sua ocorrência. Sua viabilidade de execução é analisada por uma equipe multifuncional das áreas de apoio que visa a identificar possíveis inconsistências que impeçam sua efetivação. Na sequência as equipes de apoio iniciam o processo de disponibilização de recursos tais como leitos, instrumental cirúrgico, materiais utilizados nas cirurgias, entre outros. Apesar do envolvimento de pessoas de diversas áreas, a escala cirúrgica é frequentemente modificada em função de alterações clínicas dos pacientes, alterações de prioridades, indisponibilidade de leitos de URPA e de outros recursos requeridos sem planejamento prévio.

Tal situação evidencia a complexidade do ambiente de programação de cirurgias do hospital universitário, de tal forma que os respondentes entendem que a criação de um aplicativo computacional para programação de cirurgias pode resultar em utilização mais eficiente dos recursos limitantes do hospital. Os respondentes entendem também que tal aplicativo deve melhorar o planejamento das equipes cirúrgicas e aumentar a sinergia entre as equipes e as áreas de apoio do BC.

As pesquisas com relação aos hospitais público e privado foram realizadas com o cirurgião líder das equipes da especialidade cirurgia endócrina que atuam nos BC's desses hospitais. O cirurgião, com 21 anos de atuação cirúrgica, lidera uma equipe por BC, de três cirurgiões cada, na realização de cirurgias ao longo de todos os dias da semana. O BC do hospital público possui 12 SC's para cirurgias eletivas, duas SC's para cirurgias de urgência ou emergência e 45 leitos de recuperação pós-anestésica. De forma análoga ao BC do hospital universitário, a programação de cirurgias do BC do hospital público é divulgada pelas equipes cirúrgicas na véspera da realização das cirurgias, sem considerar os impactos da sequência de cirurgias na ocupação dos recursos físicos. Tal prática acarreta similar procedimento de verificação de disponibilidade de recursos das áreas de apoio do BC para suportar a realização de cirurgias, tal qual ocorre no BC do hospital universitário.

O BC do hospital público aloca blocos de tempo de seis horas das SC's às especialidades cirúrgicas ao longo de cinco dias por semana em três turnos diários. Segundo o cirurgião, o BC do hospital público disponibiliza maior número de blocos de tempo às especialidades cirúrgicas que apresentam maiores demandas, porém sem utilizar métodos quantitativos para tal determinação. O cirurgião relata que as alterações na escala cirúrgica do BC do hospital

público ocorrem por indisponibilidade temporária de instrumentais cirúrgicos ou de leitos de recuperação da URPA, cirurgias com duração maior do que o esperado, e longos períodos de ociosidade entre cirurgias por falta de sincronismo de atuação das equipes de esterilização de SC's e pela rotineira impontualidade dos anestesistas para dar início ao procedimento de realização das cirurgias.

O BC do hospital privado aloca blocos de tempo das SC's de 4, 6 e 10 horas às especialidades cirúrgicas, utilizando um conceito próprio de reserva e confirmação de utilização dos blocos de tempo das SC's. Os blocos de tempo de 6 e 10 horas são prioritariamente destinados às especialidades cirúrgicas com maior demanda histórica de cirurgias, as quais devem confirmar a utilização desses blocos informando sua escala cirúrgica com uma semana de antecedência. Os blocos de tempo de 4 horas, por sua vez, são destinados em parte às demais especialidades cirúrgicas do BC e em parte reservados às especialidades cirúrgicas com maior demanda histórica de cirurgias, desde que seja confirmada sua utilização informando a escala cirúrgica com antecedência mínima de 24 horas. Tal sistemática, segundo o cirurgião, resulta em flexibilidade para marcação de cirurgias prioritárias ou de maior complexidade. Em caso de não utilização do bloco de tempo reservado, o BC do hospital realoca os blocos de tempos das SC's às outras especialidades cirúrgicas seguindo critérios próprios de ordenação.

A indisponibilidade temporária de leitos de recuperação da URPA é a causa principal para as alterações da escala de cirurgias do BC do hospital privado. Em escala reduzida, cirurgias com duração maior do que o esperado também provocam alterações na escala de cirurgias do BC do hospital privado, o qual opera com dez SC's para realização de cirurgias eletivas e 45 leitos de recuperação pós-anestésica. Contudo, de forma oposta ao BC do hospital público, os intervalos de tempo entre cirurgias no BC do hospital privado são reduzidos pela pronta atuação dos serviços de esterilização das SC's ao término das cirurgias e pela rápida preparação das SC's para a realização das cirurgias subsequentes. Por fim, o cirurgião acredita que a utilização de um aplicativo computacional para a programação de cirurgias pode resultar em uso mais eficiente dos recursos dos BC's de ambos os hospitais, público e privado, principalmente com relação à disponibilidade de leitos de URPA, equipamentos e instrumentais cirúrgicos.

Conforme exposto, entende-se que as pesquisas qualitativas aplicadas aos BC's dos hospitais universitário, público e privado atingiram seus objetivos propostos, identificando impactos causados pelo sequenciamento das cirurgias na ocupação das SC's e dos leitos de recuperação da URPA. Em complemento, a pesquisa contribuiu para aumentar o conhecimento acerca das

relações entre as decisões de programação e a utilização de recursos físicos de um BC, permitindo considerar os efeitos dessas relações na criação de modelos quantitativos de programação de cirurgias eletivas.

3.4 CONCLUSÃO

Os métodos de programação de cirurgias eletivas possuem importante papel no desdobramento das decisões estratégicas em políticas operacionais, as quais impactam diretamente no resultado financeiro dos hospitais. Neste sentido, esta pesquisa, de abordagem qualitativa, visou identificar relações existentes entre as decisões de programação de cirurgias eletivas e a utilização dos recursos físicos de três BC's de hospitais da região de Porto Alegre, especificamente em relação à utilização de SC's e de leitos de recuperação pós-anestésica da URPA.

A pesquisa foi aplicada a especialistas das áreas de apoio do BC de um hospital universitário e a um cirurgião da especialidade cirurgia endócrina dos BC's de um hospital público e um hospital privado, utilizando um questionário semiestruturado como roteiro para entrevistas individuais e um grupo focado. A programação de cirurgias, ou escala cirúrgica, dos BC's desses hospitais é realizada pelas equipes das especialidades cirúrgicas, as quais usualmente utilizam critérios clínicos e preferências individuais dos cirurgiões para determinar a sequência de realização das cirurgias, sem considerar os impactos da sequência de cirurgias programada na escala cirúrgica na ocupação de SC's e de leitos de recuperação da URPA.

A pesquisa identificou que as alterações na escala cirúrgica dos três BC's ocorrem principalmente por indisponibilidade temporária de leitos da URPA, por alterações no quadro clínico dos pacientes, pela chegada de pacientes em estado de urgência ou emergência no BC, e, no caso do hospital público, por longos tempos ociosos entre cirurgias consecutivas. Neste sentido, os respondentes consensuam que a utilização de um programa computadorizado de gerenciamento dos recursos físicos dos BC's, como leitos de recuperação da URPA, instrumental cirúrgico, equipamentos, equipes médicas e de enfermagem, poderia ser eficiente na redução de ocorrências de alterações das escalas cirúrgicas dos BC's.

Os métodos empregados na pesquisa podem ser aplicados em outros ambientes, com outros objetivos, apenas adaptando os questionários de cada etapa. Os resultados obtidos com a pesquisa atual sugerem a sequência da mesma, tanto em abordagem quantitativa como qualitativa. Em abordagem quantitativa, as conclusões da presente pesquisa servem de base

conceitual para o desenvolvimento de um modelo de programação de cirurgias eletivas que contemple decisões de programação em âmbito operacional e tático, visando gerir de forma eficiente os recursos físicos do BC. Em abordagem qualitativa, por outro lado, pode-se estender a pesquisa atual investigando características relativas aos pacientes e suas enfermidades que poderiam ser utilizadas para identificar um nível adequado de priorização de seu procedimento cirúrgico.

3.5 REFERÊNCIAS

BAUMGARTNER, M.; LÉONARDI, J.; KRUSCH, O. *Improving computerized routing and scheduling and vehicle telematics: A qualitative survey.* Transportation Research Part D 13 (2008) 377-382

BERTSIMAS, D.; GUPTA, S.; LULLI, G. *Dynamic resource allocation: A flexible and tractable modeling framework.* European Journal of Operational Research 236 (2014) 14-26

CARDOEN, B.; DEMEULEMEESTER, E.; BELIËN, J. *Operating room planning and scheduling: a literature review.* European Journal of Operational Research 201 (2010) 921-932

CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N. *Just in time, MRP II e OPT: um enfoque estratégico.* Atlas, São Paulo, 1996

CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N.; CAON, M. *Planejamento, programação e controle da produção: MRP II/ERP: conceitos, uso e implantação.* Atlas, São Paulo, 1999

CRESWELL, J. W.; MILLER, D. L. *Determining validity in qualitative inquiry.* Theory into Practice, 2000, vol. 39 (3), p.124-30

DEMEULEMEESTER, E.; BELIËN, J.; CARDOEN, B.; SAMUDRA, M. *Operating Room Planning and Scheduling.* Handbook of Healthcare Operations Management: Methods and Applications 121-152. New York: Springer, 2013

GUERRIERO, F.; GUIDO, R. *Operational research in the management of the operating theatre: a survey.* Health Care Manag Sci 14 (2011) 89-114

HULSHOF, P. J. H.; KORTBEEK, N.; BOUCHERIE, R. J.; HANS, E. W.; BAKKER, P. J. M. *Taxonomic classification of planning decisions in health care: a structured review of the state of the art in OR/MS.* Health Systems 1 (2012) 129-175

KERR, R. M.; EBSARY, R. V. *Implementation of a experts system for production scheduling.* European Journal of Operational Research 33 (1988) 17-29

PETTY, N. J.; THOMSON, O. P.; STEW, G. *Ready for a paradigm shift? Part 1: Introducing the philosophy of qualitative research.* Manual Therapy 17 (2012a) 267-274

_____. *Ready for a paradigm shift? Part 2: Introducing qualitative research methodologies and methods.* Manual Therapy 17 (2012b) 378-384

RIBEIRO, J. L. D.; MILAN, G. S. *Entrevistas individuais: teoria e aplicações.* FEENG/UFRGS. Porto Alegre. 2007

THOMPSON, C. B.; WALKER, B. L. *Basics of Research (Part 12): Qualitative Research.* Air Medical Journal 17:2 April-June 1998

4 MÉTODO DE DIMENSIONAMENTO E COMPARTILHAMENTO DE RECURSOS FÍSICOS DE UM BLOCO CIRÚRGICO HOSPITALAR

Guilherme V. Etcheverry, guilherme_etcheverry@yahoo.com.br

Michel J. Anzanello, *PhD*, michel.anzanello@gmail.com

Resumo

O planejamento estratégico de um bloco cirúrgico (BC) é fundamental para o atendimento da demanda de cirurgias e para o cumprimento de metas financeiras de um hospital. Este artigo apresenta uma abordagem de solução de dois problemas estratégicos relevantes de um BC: o dimensionamento dos recursos físicos e a determinação do compartilhamento ótimo desses recursos entre as especialidades cirúrgicas do BC, este último problema conhecido como o *Case Mix Planning Problem* (CMPP). O modelo de Programação Inteira proposto utiliza os blocos de tempo das salas de cirurgia (SC's) como variáveis de decisão para minimizar a necessidade de SC's e de leitos da unidade de recuperação pós-anestésica (URPA) para atender requisitos de demanda mínima das especialidades cirúrgicas. O modelo converte a demanda de cirurgias em demanda de blocos de tempo das SC's e relaciona o tempo de permanência na URPA com o tempo de permanência nas SC's. O modelo é impactado por três fatores: o número esperado de cirurgias por turno, o tempo de permanência na URPA e a demanda mínima de atendimento das especialidades cirúrgicas, entre os quais o número esperado de cirurgias por turno apresenta impacto significativo no dimensionamento dos recursos físicos do BC.

Palavras-chaves: Sequenciamento, planejamento de recursos, bloco cirúrgico, demanda de cirurgias, *case mix*.

Abstract

The strategic planning of an operating theatre (OT) is crucial for meeting the surgical demand and hospital's financial goals. In this paper we propose an approach for solving two relevant OTs strategic problems: the case mix planning problem (CMPP), for finding the optimal share of working time within the surgical specialities, and the dimensioning of OT physical resources to comply with the mix decision. An Integer Programming model uses operating room (OR) time blocks as decision variables to minimise the required number of operating rooms (ORs) and recovery beds in the post anaesthesia

care unit (PACU), bounded by minimum patient's service level requirements. The surgical demand is converted into OR time blocks demand, through the surgical specialities expected number of surgeries per shift, and the expected patient's recovery beds occupation time in PACU is calculated as a ratio of the surgery times. The model is impacted by three factors: the expected number of surgeries per shift, the patient's additional time spent in PACU and the minimum patient's service level. Among these factors, the expected amount of surgeries per shift has significant impact in the dimensioning of OT physical resources.

Key words: *Scheduling, resource planning, operating theatre, patient demand, case mix*

4.1 INTRODUÇÃO

O planejamento de capacidade dos recursos físicos envolve abordagens coordenadas de longo, médio e curto prazo para projetar, dimensionar e organizar processos, com base em informações agregadas e previsões, em horizonte de planejamento típico entre um e três anos. As decisões de planejamento são altamente relacionadas entre os níveis estratégico, tático e operacional, pois decisões tomadas em níveis mais elevados impõem restrições aos níveis hierárquicos mais baixos, cujo desempenho realimenta os objetivos e metas dos níveis hierárquicos mais elevados (MORTON e PENTICO, 1993; GUERRIERO e GUIDO, 2011; HULSHOF *et al.*, 2012; AHMADI-JAVID *et al.*, 2017).

Neste sentido, o dimensionamento das instalações de um bloco cirúrgico (BC) hospitalar e o compartilhamento desses recursos entre as especialidades cirúrgicas são decisões relevantes para o planejamento estratégico dos hospitais. Ambas as decisões são relacionadas e influenciam diretamente a lucratividade do hospital, no sentido de que excesso de recursos pode aumentar custos por ociosidade, assim como a falta deles pode aumentar as filas de espera por cirurgias e causar insatisfação aos pacientes. A primeira decisão se refere à determinação do período de trabalho e do número de salas de cirurgia (SC's) necessárias para atender a demanda de cirurgias, além de determinar a necessidade de recursos à jusante das SC's, como por exemplo, o número de leitos de recuperação na unidade de recuperação pós-anestésica (URPA). A segunda decisão se refere ao *Case Mix Planning Problem* (CMPP), para determinar o compartilhamento ótimo dos recursos do BC entre as especialidades cirúrgicas e o volume de cirurgias eletivas que devem ser realizadas no período de trabalho resultante da decisão anterior (GUERRIERO e GUIDO, 2011; HULSHOF *et al.*, 2012; AHMADI-JAVID *et al.*, 2017).

A crescente demanda de cirurgias eletivas requer o desenvolvimento de sistemas de saúde eficientes que melhorem o fluxo dos pacientes em suas instalações, minimize custos e maximize a utilização dos recursos físicos. Neste contexto, o dimensionamento dos recursos físicos e a determinação de seu período de operação são fundamentais no planejamento de recursos e na lucratividade dos hospitais. Contudo, apesar do BC ser a área do hospital mais intensiva em custos, a quantidade de recursos físicos do BC é normalmente definida como dado de entrada de formulações para solucionar o CMPP, assim como para abordagens táticas e operacionais (GUERRIERO e GUIDO, 2011; HOF *et al.*, 2015; YAHIA *et al.*, 2016; AHMADI-JAVID *et al.*, 2017; PENN *et al.*, 2017). De fato, uma recente revisão de Ahmadi-Javid *et al.* (2017) mostra que inexistem abordagens de otimização para determinar o número ótimo de recursos físicos do BC, de modo que este tema se constitui em promissora linha de pesquisa no planejamento estratégico de capacidade dos recursos físicos de um BC.

A solução do CMPP visa a otimizar o compartilhamento de recursos do BC para atender à demanda de cirurgias eletivas das especialidades cirúrgicas. A distribuição do tempo de uso dos recursos do BC entre as especialidades cirúrgicas constitui-se em importante decisão do planejamento estratégico de recursos de longo prazo do BC, a qual costuma considerar aspectos regulatórios, sociais, econômicos e limites mínimos de atendimento da demanda de cirurgias eletivas. Abordagens realistas de solução do CMPP consideram entre um e três anos de previsão de demanda de cirurgias eletivas e seu impacto no balanço entre oferta e demanda de tempo dos recursos do BC (GUERRIERO e GUIDO, 2011; HOF *et al.*, 2015).

Este artigo apresenta uma abordagem de otimização para o planejamento de capacidade dos recursos físicos do BC em simultaneidade com a solução do CMPP. Um modelo de Programação Inteira (IP – *Integer Programming*) é proposto para minimizar o número de recursos físicos do BC ao mesmo tempo em que soluciona o CMPP, sujeito à demanda de longo prazo de cirurgias eletivas do BC. Apesar do modelo proposto de otimização utilizar a demanda projetada para estabelecer limites mínimos de atendimento da demanda de cirurgias das especialidades cirúrgicas, foge ao escopo deste artigo a discussão em relação ao método de previsão de demanda utilizado para projetar a demanda de longo prazo das cirurgias.

A formulação proposta considera um conjunto de especialidades cirúrgicas competindo entre si por uma parcela do tempo planejado das SC's e dos leitos de recuperação da URPA, na forma de blocos de tempo equivalentes aos turnos de trabalho, com o objetivo de cumprir o requisito de atendimento mínimo da demanda de cirurgias eletivas das especialidades cirúrgicas do BC do hospital. Os blocos de tempo das SC's são utilizados como variáveis de

decisão do modelo de forma que a demanda de cirurgias eletivas das especialidades cirúrgicas é convertida em demanda de blocos de tempo das SC's considerando o número de cirurgias realizáveis por turno de trabalho, calculado com os tempos históricos de realização dos procedimentos cirúrgicos das especialidades cirúrgicas de um hospital universitário. Assim, a otimização resulta na determinação do número de SC's e leitos de URPA necessários para cumprir a especificação de atendimento mínimo da demanda de cirurgias eletivas e na distribuição dos blocos de tempo das SC's entre as especialidades cirúrgicas, solucionando simultaneamente o CMPP.

Não foram identificadas na literatura abordagens de solução otimizantes para o CMPP que simultaneamente determinem a quantidade de recursos físicos necessários para suportar a distribuição do tempo operacional das SC's entre as especialidades cirúrgicas de um BC (GUERRIERO e GUIDO, 2011; AHMADI-JAVID *et al.*, 2017). Assim, este artigo contribui com uma inédita ferramenta de planejamento estratégico que otimiza o número de recursos físicos de um BC necessários para o atendimento da demanda de cirurgias eletivas ao mesmo tempo em que soluciona o CMPP, determinando a participação de cada especialidade cirúrgica no tempo planejado de operação dos recursos físicos do BC.

4.2 MODELO DE OTIMIZAÇÃO

O modelo de otimização proposto lida com o dimensionamento do número de SC's e leitos de URPA necessários para atendimento de um nível mínimo de demanda de cirurgias eletivas e da distribuição do tempo desses recursos entre as especialidades cirúrgicas, simultaneamente solucionando o CMPP. O modelo é concebido para utilização como uma ferramenta de planejamento estratégico no dimensionamento de novos BC's operando, em nível tático, com alocação de blocos de tempo das SC's às especialidades cirúrgicas. Neste sentido, a demanda projetada de longo prazo de cirurgias eletivas das especialidades cirúrgicas é utilizada para determinar níveis de atendimento mínimo, forçando o modelo a otimizar o compartilhamento do tempo planejado de SC's e leitos de URPA entre as especialidades cirúrgicas, ou seja, solucionando o CMPP.

O modelo proposto se apoia nas seguintes premissas:

- Cada bloco de tempo da escala de alocação das SC's, em nível tático, equivale a um turno de trabalho.

- Todas as cirurgias devem iniciar e terminar no mesmo turno de trabalho.
- As SC's são higienizadas após a conclusão de cada cirurgia.

Assumindo que os tempos de realização dos procedimentos cirúrgicos da especialidade n ($n \in N$) são normalmente distribuídos, o tempo esperado de cirurgia t_n é o tempo referencial utilizado para calcular o número esperado de cirurgia por turno c_n , calculado pela equação (1).

$$c_n = \text{int} \left(\frac{st}{t_n + ht} \right) \quad (1)$$

A premissa de iniciar e concluir as cirurgias no mesmo turno de trabalho faz com que apenas a parte inteira da divisão do tempo do turno st pela soma de t_n com o tempo de higienização ht seja considerada no cálculo de c_n . O valor de t_n , por sua vez, resulta da definição de um percentil p da distribuição dos tempos de realização dos procedimentos cirúrgicos da especialidade n , localizado entre a mediana e o terceiro quartil, com o objetivo de assegurar um elevado valor de ocupação de capacidade da SC até o limite de 90% de ocupação, de forma a permitir, em nível operacional, flexibilidade na ordenação e no planejamento do horário de início das cirurgias. A capacidade da SC, C_{SC} , é calculada pela equação (2).

$$C_{SC} = \frac{c_n \cdot (t_n + ht)}{st} \quad (2)$$

Desta forma, a escolha do percentil da distribuição dos tempos de realização dos procedimentos cirúrgicos impacta diretamente nos valores de t_n e c_n , de forma que valores elevados do percentil resultam em valores elevados de t_n e valores reduzidos de c_n , assim como valores reduzidos do percentil resultam em valores reduzidos de t_n e valores elevados de c_n , impactando, em ambos os casos, no valor de C_{SC} . Neste sentido, antes da escolha do percentil p e de t_n , os dados históricos do hospital acadêmico referentes aos tempos de execução dos procedimentos cirúrgicos e aos tempos de permanência dos pacientes nos leitos da URPA são analisados com objetivo de excluir dados inconsistentes como, por exemplo, tempo de cirurgia igual a zero e dados espúrios identificados através das inequações (3) e (4)

$$x_{esp} < Q1 - 1,5 \cdot (Q3 - Q1) \quad (3)$$

$$x_{esp} > Q3 + 1,5 \cdot (Q3 - Q1) \quad (4)$$

Como resultado, os dados que distam além de 1,5 vezes o intervalo interquartil (Q3-Q1) abaixo do primeiro quartil (Q1) e acima do terceiro quartil (Q3) são considerados dados espúrios (x_{esp}) e excluídos da análise apresentada na seção 4.3 (PYZDEK, 2000).

Como já referido, este artigo não aborda a adequação da escolha da técnica de previsão de demanda utilizada para projetar a demanda de cirurgias. De fato, a demanda projetada de cirurgias é utilizada para determinar limites mínimos de atendimento da demanda de cirurgias das especialidades cirúrgicas, na forma de demanda mínima de blocos de tempo das SC's. Assim, a demanda de cirurgias eletivas das especialidades cirúrgicas d_{ns} ($d_{ns} \in D_{ns}$) no horizonte de programação h , é convertida para a demanda de blocos de tempo das especialidades cirúrgicas d_{nb} ($d_{nb} \in D_{nb}$) dividindo a demanda de cirurgias d_{ns} pelo número esperado de cirurgias por turno c_n , através da equação (5).

$$d_{nb} = \text{int} \left(\frac{d_{ns}}{c_n} \right) \quad (5)$$

Como não faz sentido considerar demanda fracionária de cirurgias, o valor de d_{nb} considera apenas a parte inteira resultante do cálculo realizado pela equação (5).

O modelo proposto em IP para dimensionar os recursos físicos do BC e solucionar o CMPP é apresentado nas equações (6) a (12).

$$\min \sum_m W_m \cdot R_m \quad (6)$$

$$\text{s.t. } \sum_t \sum_n x_{nt} = R_1 \cdot S_y \quad (7)$$

$$\sum_t \sum_n x_{nt} \cdot (1 + \beta_n) \cdot (1 - \alpha_n) \leq R_2 \cdot S_y \quad (8)$$

$$\sum_n x_{nt} - \sum_n x_{n(t+1)} = 0, \quad t \in T \{1, \dots, h - 1\} \quad (9)$$

$$\sum_t x_{nt} \leq \sum_t d_{nb}, \quad n \in N \quad (10)$$

$$\sum_t x_{nt} \geq \text{int}(\gamma_n \cdot \sum_t d_{nb}), \quad 0 < \gamma_n \leq 1 \quad (11)$$

$$x_{nt} \in Z^+ \quad (12)$$

Na função objetivo (6), o conjunto de recursos físicos do BC, R_m , é multiplicado por uma função de custo W_m que representa o custo de instalação/implantação desses recursos, com vistas a minimizar o investimento total requerido para instalá-los. Com $W_m = 1$ e $m = 2$, os recursos R_1 e R_2 representam, respectivamente, o número de SC's e leitos de recuperação da URPA. As relações entre as variáveis de decisão x_{nt} , os blocos de tempo das SC's, e os recursos R_1 e R_2 são estabelecidas nas restrições (7) e (8). Na restrição (7), o número anual de blocos de tempo x_{nt} das SC's compartilhados entre as especialidades cirúrgicas deve igualar-se ao número total de blocos de tempo das SC's disponibilizados, ou seja, nenhum bloco de tempo disponibilizado pode ficar ocioso. O número de blocos de tempo anualmente

disponibilizados por SC, S_y , é calculado pela multiplicação do número de turnos diários de trabalho S_d pelo número de dias anuais de trabalho w_d .

Na restrição (8), o número de blocos de tempo dos leitos de recuperação da URPA requeridos para suportar os blocos de tempo das SC's compartilhados entre as especialidades cirúrgicas leva em consideração dois fatores: o percentual α_n (com $0 \leq \alpha_n < 1$) de procedimentos cirúrgicos que não requerem a utilização dos leitos da URPA para a recuperação pós-anestésica do paciente, ou seja, o percentual de pacientes que são enviados diretamente à unidade de tratamento intensivo (UTI) ou para os leitos de internação, e o percentual de tempo adicional de permanência do paciente na URPA em relação ao seu tempo de cirurgia, β_n ($\beta_n \geq 0$), característico das especialidades cirúrgicas e usualmente obtido a partir de registros históricos do BC. A restrição (9) equaliza o número de blocos de tempo das SC's anualmente compartilhados no horizonte h . A restrição de equalização considera que os blocos de tempo anualmente disponibilizados por SC sejam iguais ao longo do horizonte de planejamento, condição que pode ser modificada apropriadamente pelo planejador caso o período de trabalho difira de ano para ano.

As restrições de demanda (10) e (11) definem limites para o compartilhamento de blocos de tempo das SC's entre as especialidades cirúrgicas do BC e, de fato, são essas restrições que forçam o modelo a encontrar o compartilhamento ótimo dos blocos de tempo das SC's entre as especialidades cirúrgicas, solucionando o CMPP. Essas restrições se referem, respectivamente, ao limite máximo e ao nível mínimo de atendimento da demanda de blocos de tempo das SC's no horizonte h . Na restrição (10), o número de blocos de tempo das SC's alocados a uma especialidade cirúrgica não pode exceder sua demanda d_{nb} em h , enquanto que a restrição (11) estabelece um nível mínimo de atendimento da demanda das especialidades cirúrgicas em h . O nível mínimo de compartilhamento dos blocos de tempo das SC's resulta da parte inteira da multiplicação do fator de demanda mínima γ_n pela demanda total de blocos de tempo D_{nb} , com $0 < \gamma_n \leq 1$. O fator de demanda mínima γ_n pode diferir de valor entre as especialidades cirúrgicas, respeitando limites legais ou premissas definidas pelo planejador, assim como pode assumir o mesmo valor para todas as especialidades cirúrgicas. Por fim, a restrição (12) se refere às variáveis de decisão inteiras do modelo, os blocos de tempo das SC's.

4.3 RESULTADOS

Esta seção apresenta resultados da aplicação do modelo de otimização a um conjunto de dados históricos, coletados entre 2009 e 2013, de um hospital acadêmico, com base nos tempos dos procedimentos cirúrgicos e de permanência dos pacientes nos leitos da URPA. As especialidades cirúrgicas consideradas no estudo são: cirurgia do aparelho digestivo (CAD), cirurgia buco maxilo facial (BUC), cirurgia cardiovascular (CCV), colo-proctologia (PRO), cirurgia geral (CIG), ginecologia (SGO), mastologia (MST), neurocirurgia (NCI), ortopedia (ORT), otorrinolaringologia (OTO), cirurgia pediátrica (CII), cirurgia plástica (CIP), cirurgia torácica (CIT), urologia (URL) e cirurgia vascular (CIV).

O modelo de otimização foi desenvolvido em MATLAB[®] R2014a e testado em processador intel[®] Core i5 450M com 4GB de memória RAM. A estatística descritiva dos tempos de execução dos procedimentos cirúrgicos e dos tempos de permanência nos leitos da URPA utilizados na aplicação do modelo, após a exclusão dos dados espúrios, é apresentada na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Estatística descritiva dos tempos nas SC's e URPA

Esp. Cir.	Tempos SC				Tempos URPA				α	β
	Q1	Q2	Q3	\bar{x}	Q1	Q2	Q3	\bar{x}		
CAD	1h50	2h27	3h27	2h43	3h11	4h04	5h10	4h24	0,10	0,62
BUC	2h05	2h37	3h46	3h03	3h10	4h10	4h54	4h15	0	0,39
CCV	0h55	1h12	1h30	1h14	2h21	3h05	4h11	3h24	0,25	1,76
PRO	1h15	2h25	4h24	2h52	3h26	4h35	6h10	4h57	0,05	0,73
CIG	1h47	2h20	2h56	2h25	3h05	4h00	5h03	4h11	0	0,73
SGO	1h26	2h05	2h50	2h10	3h21	4h17	5h14	4h25	0	1,04
MST	1h50	2h15	2h45	2h18	3h05	3h51	4h42	4h00	0	0,74
NCI	2h45	4h05	5h05	4h00	3h16	4h20	5h16	4h26	0,45	0,11
ORT	2h20	3h05	3h50	3h05	3h27	4h29	5h52	4h50	0	0,57
OTO	1h54	2h30	3h20	2h38	2h44	3h32	4h29	3h42	0	0,41
CII	0h48	1h05	1h25	1h09	2h13	2h55	3h57	3h09	0	1,74
CIP	2h20	3h15	4h30	3h25	3h03	3h48	4h48	3h59	0	0,17
CIT	1h25	1h50	2h25	2h08	2h49	3h47	4h59	4h08	0,12	0,94
URL	1h35	2h21	3h22	2h34	3h35	4h40	6h00	4h58	0,05	0,94
CIV	1h38	2h25	3h15	2h33	3h40	4h53	7h24	6h37	0,25	1,59

Fonte: Os autores

Na Tabela 4.1 são apresentados os três quartis e as médias das distribuições dos tempos dos procedimentos cirúrgicos nas SC's e dos tempos de permanência dos pacientes na URPA das especialidades cirúrgicas. As duas últimas colunas da tabela apresentam, respectivamente, o valor de α , extraído dos dados históricos do hospital acadêmico, e o valor de β , calculado pela divisão da média do tempo de permanência da URPA pela média do tempo de cirurgia das especialidades cirúrgicas.

Com base nos dados da Tabela 4.1 identifica-se, para cada especialidade cirúrgica, o percentil p que corresponde ao valor de t_n , apresentado na Tabela 4.2, utilizado para calcular os valores de c_n e C_{sc} , respectivamente, pelas equações (1) e (2), considerando $st = 360$ e $ht = 5$.

Tabela 4.2: Valores de p , t_n e c_n utilizados pelo modelo de otimização

Esp.	p	t_n	c_n	C_{sc}	Esp.	p	t_n	c_n	C_{sc}	Esp.	p	t_n	c_n	C_{sc}
CAD	54	2h37	2	90,0%	SGO	68	2h37	2	90,0%	CII	66	1h16	4	90,0%
BUC	75	3h46	1	64,2%	MST	70	2h37	2	90,0%	CIP	63	3h55	1	66,7%
CCV	75	1h30	3	79,2%	NCI	75	5h05	1	86,1%	CIT	73	2h21	2	81,1%
PRO	52	2h37	2	90,0%	ORT	75	3h50	1	65,3%	URL	50	2h21	2	81,1%
CIG	62	2h37	2	90,0%	OTO	54	2h37	2	90,0%	CIV	58	2h37	2	90,0%

Fonte: Os autores

Apesar dos dados dos tempos de execução das cirurgias e de permanência dos pacientes nos leitos da URPA estarem disponíveis junto à administração do BC do hospital acadêmico, a demanda mensal de cirurgias eletivas e o percentual de atendimento desta demanda não são informações disponíveis por questões de confidencialidade. Neste sentido, para fins de teste do modelo de otimização, é gerada uma demanda de 36 meses ($h=36$) com base em uma distribuição uniforme com limites entre 120 e 140 cirurgias/mês por especialidade cirúrgica, a qual é mostrada na Tabela A1 do Apêndice, enquanto que a demanda de blocos de tempo, calculada pela equação (5) com o valor de c_n da Tabela 4.2, é mostrada na Tabela A2 do Apêndice.

4.3.1 Dimensionamento dos recursos físicos do BC

O dimensionamento dos recursos físicos do BC visa a determinar o número requerido de SC's e leitos de URPA para atendimento da demanda de cirurgias eletivas do BC, considerando neste caso $w_m=1$ e $m=2$. As análises que seguem utilizam os valores de α e β da Tabela 4.1, os valores de c_n da Tabela 4.2 e os valores percentuais de γ_n {40, 45, 50, 55, 60,

65, 70, 75, 80, 85, 90, 95}, assumindo que o BC opera durante 250 dias por ano ($w_d = 250$) em três turnos diários de trabalho ($S_d = 3$), totalizando 750 turnos de trabalho anuais ($S_y = S_d \times w_d = 3 \times 250 = 750$).

Os resultados da aplicação do modelo de IP são mostrados na Tabela 4.3, os quais foram gerados utilizando os padrões de configuração do comando *intlinprog*, que executa a otimização no MATLAB[®] R2014a, com tempo de processamento inferior a um minuto. No entanto, o modelo não gera resultados viáveis para a demanda de cirurgias considerada no estudo com valores de γ_n acima de 95%, pois ao atender a restrição (7), de alocação total dos blocos de tempo disponibilizados, e a restrição (9), de equalização dos blocos de tempo anualmente disponibilizados, o modelo viola a restrição (10) que limita a alocação de blocos de tempo à demanda máxima das especialidades cirúrgicas.

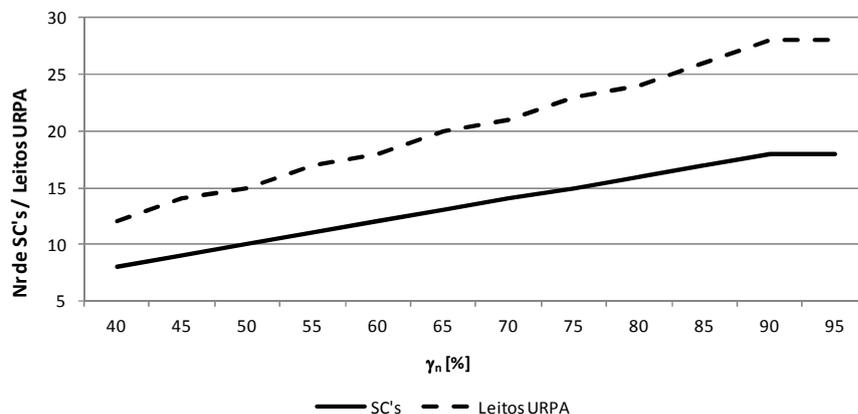
Tabela 4.3: Número de SC's e leitos da URPA resultante da otimização com diferentes valores de γ_n

γ_n [%]	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
SC's	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	18
Leitos	12	14	15	17	18	20	21	23	24	26	28	28
Leitos / SC	1,50	1,56	1,50	1,55	1,50	1,54	1,50	1,53	1,50	1,53	1,56	1,56

Fonte: Os autores

Na Tabela 4.3, o número de SC's e de leitos de recuperação da URPA aumenta à medida que aumenta o fator de atendimento mínimo da demanda γ_n , porém a variação da proporção de leitos de recuperação por SC's em função de γ_n , mostrada na última linha da tabela, é inferior a 4,0% (de 1,50 para 1,56 leitos/SC). A Figura 4.1 mostra o número de SC's e de leitos de recuperação da URPA em função de γ_n .

Figura 4.1: Número de SC's e leitos da URPA resultante da otimização com diferentes valores de γ_n



Fonte: Os autores

As curvas do número de SC's e de leitos de recuperação da URPA da Figura 4.1 apresentam elevada correlação linear com os valores de γ_n , ambas com coeficiente de correlação de 99,4%. Desta forma, outros resultados para o dimensionamento do número de SC's e de leitos de recuperação da URPA podem ser estimados para outros valores de γ_n entre 40 e 95%, com base na mesma demanda de blocos de tempo das SC's, através das equações (13) e (14).

$$\text{Nr SC's} = 0,192 \cdot \gamma_n + 0,436 \quad (13)$$

$$\text{Nr Leitos URPA} = 0,301 \cdot \gamma_n + 0,203 \quad (14)$$

4.3.2 Case Mix Planning Problem (CMPP)

A solução do CMPP, apresentada na Tabela 4.4, é obtida simultaneamente ao dimensionamento dos recursos físicos do BC. A tabela apresenta, para os valores testados de γ_n em h , o número de blocos de tempo das SC's correspondente ao percentual médio de atendimento da demanda das especialidades cirúrgicas.

Tabela 4.4: Solução do CMPP [%] para diferentes valores de γ_n e o número correspondente de blocos de tempo alocados às especialidades cirúrgicas em h

γ_n [%]	40		45		50		55		60		65	
	Esp.	Nr.	(%)	Nr.								
Cir.	Blocos											
CAD	954	40,6	1.076	45,8	1.184	50,4	1.330	56,6	1.431	60,9	1.796	76,5
BUC	2.209	47,7	2.485	53,6	2.796	60,3	2.969	64,1	3.247	70,1	3.628	78,3
CCV	630	41,0	707	46,0	779	50,7	863	56,1	944	61,4	1.012	65,8
PRO	940	40,6	1.060	45,8	1.168	50,5	1.288	55,6	1.411	61,0	1.518	65,6
CIG	945	40,6	1.064	45,8	1.172	50,4	1.293	55,6	1.416	60,9	1.523	65,5
SGO	941	40,7	1.055	45,7	1.163	50,3	1.290	55,8	1.406	60,8	1.515	65,6
MST	928	40,5	1.045	45,6	1.153	50,3	1.277	55,7	1.400	61,1	1.504	65,6
NCI	2.380	51,6	2.637	57,2	2.900	62,9	2.961	64,2	3.465	75,2	3.308	71,8
ORT	1.886	40,4	2.121	45,4	2.347	50,2	2.588	55,4	2.824	60,4	3.053	65,3
OTO	932	40,6	1.049	45,7	1.157	50,4	1.279	55,7	1.401	61,0	1.507	65,6
CII	475	41,2	535	46,4	583	50,5	655	56,8	715	62,0	772	66,9
CIP	1.916	40,7	2.135	45,4	2.512	53,4	2.825	60,1	3.103	66,0	3.304	70,3
CIT	941	40,7	1.057	45,7	1.165	50,4	1.285	55,6	1.406	60,8	1.512	65,4
URL	945	40,7	1.062	45,7	1.170	50,4	1.294	55,7	1.414	60,9	1.524	65,6
CIV	978	42,3	1.162	50,3	1.251	54,1	1.553	67,2	1.417	61,3	1.774	76,8

Fonte: Os autores

Tabela 4.4 (continuação): Solução do CMPP para diferentes valores de γ_n e o número correspondente de blocos de tempo alocados às especialidades cirúrgicas em h

γ_n [%]	70		75		80		85		90		95	
	Nr. Blocos	(%)	Nr. Blocos	(%)	Nr. Blocos	(%)	Nr. Blocos	(%)	Nr. Blocos	(%)	Nr. Blocos	(%)
CAD	1.661	70,7	1.772	75,5	1.893	80,6	2.021	86,1	2.348	100,0	2.271	96,7
BUC	3.679	79,4	3.487	75,2	4.239	91,5	4.612	99,5	4.632	100,0	4.562	98,4
CCV	1.095	71,2	1.167	75,9	1.241	80,7	1.322	86,0	1.394	90,6	1.466	95,3
PRO	1.637	70,7	1.750	75,6	1.867	80,6	1.980	85,5	2.221	95,9	2.207	95,3
CIG	1.647	70,8	1.757	75,6	1.874	80,6	1.990	85,6	2.109	90,7	2.217	95,4
SGO	1.635	70,7	1.744	75,5	1.864	80,7	1.979	85,6	2.095	90,7	2.203	95,3
MST	1.618	70,6	1.731	75,5	1.847	80,6	1.958	85,4	2.076	90,6	2.184	95,3
NCI	4.091	88,8	4.609	100,0	4.439	96,3	4.609	100,0	4.609	100,0	4.480	97,2
ORT	3.291	70,4	3.519	75,3	3.847	82,3	3.993	85,4	4.629	99,0	4.458	95,4
OTO	1.625	70,7	1.735	75,5	1.877	81,7	2.137	93,0	2.297	100,0	2.189	95,3
CII	821	71,1	880	76,3	938	81,3	1.001	86,7	1.046	90,6	1.118	96,9
CIP	3.625	77,1	4.351	92,5	4.477	95,2	4.702	100,0	4.702	100,0	4.488	95,4
CIT	1.635	70,7	1.746	75,6	1.863	80,6	1.978	85,6	2.138	92,5	2.203	95,3
URL	1.643	70,7	1.753	75,5	1.872	80,6	1.990	85,7	2.107	90,7	2.215	95,4
CIV	1.797	77,8	1.749	75,7	1.862	80,6	1.978	85,6	2.095	90,7	2.239	96,9

Fonte: Os autores

Todos os resultados gerados pelo modelo, na faixa de valores testados de γ_n , satisfazem as restrições de demanda (9) e (10). No entanto, os percentuais de atendimento da demanda de algumas especialidades cirúrgicas superam em aproximadamente dez e vinte e cinco pontos percentuais o valor de atendimento da demanda das demais especialidades cirúrgicas, como é o caso da especialidade cirúrgica Neurocirurgia (NCI) em muitos valores de γ_n apresentados na Tabela 4.4. Tal situação decorre do fato de que, para cumprir o objetivo de minimizar a quantidade requerida de recursos físicos do BC, o modelo prioriza o compartilhamento dos blocos de tempo das SC's ainda disponíveis às especialidades cirúrgicas com menor demanda de tempo dos leitos da URPA, ou seja, após satisfazer a restrição (10), o modelo aloca os blocos de tempo das SC's às especialidades cirúrgicas com o menor valor do produto entre os fatores $(1 + \beta_n)$ e $(1 - \alpha_n)$, neste caso a especialidade cirúrgica Neurocirurgia.

Na Tabela 4.4, os valores dos blocos de tempo das SC's compartilhados às especialidades cirúrgicas devem ser utilizados como limites inferiores para abordagens

otimizantes em nível tático, em específico, em relação às abordagens que visam a solucionar o problema *master surgery scheduling problem* (MSSP), com a geração de uma escala cíclica de alocação dos blocos de tempo das SC's às especialidades cirúrgicas.

4.4 CONCLUSÃO

Este artigo apresenta uma abordagem de otimização para solucionar dois problemas estratégicos em um BC hospitalar: o dimensionamento dos recursos físicos necessários para atender a demanda de cirurgias eletivas e o compartilhamento desses recursos físicos entre as especialidades cirúrgicas do BC, problema conhecido como *case mix planning problem* (CMPP). Os dois problemas são resolvidos simultaneamente com objetivo de utilizar eficientemente os recursos físicos do BC e atender a demanda de cirurgias de cirurgias eletivas do BC de um hospital acadêmico. A abordagem proposta é inédita na literatura visto que as abordagens existentes consideram os recursos físicos do BC como dados de entrada dos modelos para solução do CMPP.

Neste sentido, o modelo proposto em IP otimiza o número requerido de SC's e leitos de URPA condicionado ao atendimento de uma demanda mínima de cirurgias das especialidades cirúrgicas do BC. O modelo utiliza o número esperado de cirurgias por turno de trabalho das especialidades cirúrgicas para converter a demanda de longo prazo de cirurgias eletivas em demanda de blocos de tempo das SC's, que são as variáveis de decisão do modelo. A demanda de leitos de recuperação da URPA é relacionada com a demanda dos blocos de tempo das SC's através do tempo esperado de permanência dos pacientes na URPA e de um fator que expressa a probabilidade utilização dos leitos de recuperação da URPA.

Em nossa abordagem, a decisão gerencial de maior impacto é a escolha do percentil da distribuição dos tempos de cirurgia que identifica o tempo referencial de cirurgia das especialidades cirúrgicas, o qual é utilizado para calcular o número esperado de cirurgias por turno e a demanda de blocos de tempo das SC's. De fato, o tempo referencial de cirurgia e o tempo esperado de permanência do paciente na URPA tem impacto direto no compartilhamento dos blocos de tempo das SC's e no cumprimento do requisito de atendimento da demanda mínima das especialidades cirúrgicas, resultando também em grandes diferenças no número de SC's e de leitos de recuperação

da URPA resultantes da otimização. Resultados numéricos considerando diversos valores do nível de atendimento da demanda mínima de cirurgias eletivas mostram o impacto desses fatores tanto no dimensionamento de recursos do BC como na solução do CMPP e comprovam a utilidade da abordagem de otimização proposta como ferramenta para o planejamento estratégico de recursos de um BC.

A abordagem proposta foi desenvolvida para utilização como ferramenta de suporte às decisões estratégicas de dimensionamento e compartilhamento de recursos físicos do BC, permitindo que o planejador do hospital altere os níveis dos fatores supracitados e avalie seus respectivos resultados. Novas versões do modelo proposto devem incluir o dimensionamento de outros recursos do BC e da necessidade de equipes de trabalho, além de considerar diferentes padrões de demanda e distribuições estatísticas tanto para a demanda de cirurgias quanto para os tempos esperados de realização dos procedimentos cirúrgicos.

4.5 REFERÊNCIAS

AHMADI-JAVID, A.; JALALI, Z. & KLASSEN, K. J. *Outpatient appointment systems in healthcare: a review of optimization studies.* European Journal of Operational Research 258 (2017) 3-34

GUERRIERO, F. & GUIDO, R. *Operational research in the management of the operating theatre: a survey.* Health Care Manag Sci 14 (2011) 89-114

HOF, S.; FÜGENER, A.; SCHOENFELDER, J. & BRUNNER, J. O. *Case mix planning in hospitals: a review and future agenda.* Health Care Manag Sci (2015) 1-14

HULSHOF, P. J. H.; KORTBEEK, N.; BOUCHERIE, R. J.; HANS, E. W. & BAKKER, P. J. M. *Taxonomic classification of planning decisions in health care: a structured review of the state of the art in OR/MS.* Health Systems 1 (2012) 129-175

MORTON, T. E. & PENTICO, D.W. *Heuristic scheduling systems: with applications to production systems and project management.* New York: John Wiley & Sons Inc. 1993

PENN, M. L.; POTTS, C. N.; HARPER, P. R. *Multiple criteria mixed-integer programming for incorporating multiple factors into the development of master operating theatre timetables.* European Journal of Operational Research 262 (2017) 194-208

PYZDEK, T. *Quality Engineering Handbook.* New York: Quality Publishing LLC. 2000

YAHIA, Z.; ELTAWIL, A. B. & HARRAZ, N. A. *The operating room case-mix problem under uncertainty and nurses capacity constraints.* Health Care Manag Sci 19 (2016) 383-394

4.6 APÊNDICES

A Tabela A1 apresenta a demanda de cirurgias eletivas das especialidades cirúrgicas em h , enquanto a demanda de blocos de tempo das especialidades cirúrgicas, calculada através da equação (5), é apresentada nas Tabelas A2.

Tabela A1: Demanda de cirurgias eletivas das especialidades cirúrgicas

Esp. Cir.	h	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CAD	1	121	125	139	139	136	122	134	133	127	129	128	130
	2	125	135	136	138	133	138	134	132	123	138	120	122
	3	138	133	136	126	121	133	131	130	122	139	131	137
BUC	1	124	130	136	138	127	125	133	120	124	127	136	122
	2	125	130	121	131	128	132	137	128	139	126	120	120
	3	120	132	121	123	135	124	139	126	134	128	138	135
CCV	1	130	120	126	136	120	132	133	130	129	130	127	125
	2	125	126	124	131	123	138	139	130	139	128	135	122
	3	138	137	125	120	124	126	135	131	123	123	126	136
PRO	1	135	125	134	123	126	136	125	130	134	139	128	139
	2	120	120	124	135	133	121	139	123	123	133	128	138
	3	127	137	131	124	124	127	130	127	122	135	128	126
CIG	1	122	131	138	136	136	133	131	137	122	138	121	135
	2	138	131	127	124	138	126	138	124	138	127	125	133
	3	133	126	132	127	120	124	121	124	133	134	121	123
SGO	1	138	123	133	129	125	125	132	123	136	120	133	138
	2	133	123	128	133	127	138	125	124	128	122	137	122
	3	139	128	128	131	122	133	137	125	122	121	134	127
MST	1	128	123	129	125	135	122	136	138	138	135	134	126
	2	124	123	122	125	132	120	121	125	124	121	133	139
	3	121	136	125	131	124	134	125	121	121	129	134	125

Fonte: Os autores

Tabela A1 (continuação): Demanda de cirurgias eletivas das especialidades cirúrgicas

Esp. Cir.	h	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
NCI	1	121	133	125	130	130	124	120	139	136	129	126	124
	2	129	123	128	131	137	123	136	138	122	126	125	122
	3	133	138	128	135	124	120	129	123	122	125	135	120
ORT	1	133	131	131	136	123	133	124	126	129	127	126	133
	2	135	130	133	132	129	135	123	132	125	136	132	129
	3	128	137	127	131	138	127	126	126	120	128	138	125
OTO	1	125	131	126	130	130	121	139	132	133	136	134	127
	2	127	120	130	127	132	136	120	136	130	132	125	127
	3	122	129	121	122	125	124	135	131	123	128	120	124
CII	1	135	139	139	125	125	129	136	130	129	137	139	128
	2	124	129	127	124	129	132	135	127	121	124	123	129
	3	129	131	122	132	121	138	136	123	121	137	136	124
CIP	1	139	132	128	127	134	139	132	129	128	139	133	138
	2	134	120	133	138	122	130	130	123	131	139	127	121
	3	129	138	132	121	135	135	136	121	120	134	129	126
CIT	1	133	126	139	123	134	138	133	127	120	123	121	136
	2	135	128	133	128	122	138	126	134	120	128	130	126
	3	137	123	133	127	133	127	137	120	126	120	125	130
URL	1	129	130	133	127	128	131	136	126	128	137	129	127
	2	133	123	122	130	122	134	131	137	129	136	138	125
	3	133	127	136	125	132	133	121	135	130	120	120	122
CIV	1	121	137	134	123	123	135	125	121	120	126	132	134
	2	132	131	128	132	128	134	137	127	126	130	134	124
	3	125	125	129	134	126	133	133	133	127	124	135	123

Fonte: Os autores

Tabela A2: Demanda de blocos de tempo das especialidades cirúrgicas

Esp. Cir.	h	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
CAD	1	60	62	69	69	68	61	67	66	63	64	64	65
	2	62	67	68	69	66	69	67	66	61	69	60	61
	3	69	66	68	63	60	66	65	65	61	69	65	68
BUC	1	124	130	136	138	127	125	133	120	124	127	136	122
	2	125	130	121	131	128	132	137	128	139	126	120	120
	3	120	132	121	123	135	124	139	126	134	128	138	135
CCV	1	43	40	42	45	40	44	44	43	43	43	42	41
	2	41	42	41	43	41	46	46	43	46	42	45	40
	3	46	45	41	40	41	42	45	43	41	41	42	45

Fonte: Os autores

Tabela A2 (continuação): Demanda de blocos de tempo das especialidades cirúrgicas

Esp. Cir.	h	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
PRO	1	67	62	67	61	63	68	62	65	67	69	64	69
	2	60	60	62	67	66	60	69	61	61	66	64	69
	3	63	68	65	62	62	63	65	63	61	67	64	63
CIG	1	61	65	69	68	68	66	65	68	61	69	60	67
	2	69	65	63	62	69	63	69	62	69	63	62	66
	3	66	63	66	63	60	62	60	62	66	67	60	61
SGO	1	69	61	66	64	62	62	66	61	68	60	66	69
	2	66	61	64	66	63	69	62	62	64	61	68	61
	3	69	64	64	65	61	66	68	62	61	60	67	63
MST	1	64	61	64	62	67	61	68	69	69	67	67	63
	2	62	61	61	62	66	60	60	62	62	60	66	69
	3	60	68	62	65	62	67	62	60	60	64	67	62
NCI	1	121	133	125	130	130	124	120	139	136	129	126	124
	2	129	123	128	131	137	123	136	138	122	126	125	122
	3	133	138	128	135	124	120	129	123	122	125	135	120
ORT	1	133	131	131	136	123	133	124	126	129	127	126	133
	2	135	130	133	132	129	135	123	132	125	136	132	129
	3	128	137	127	131	138	127	126	126	120	128	138	125
OTO	1	62	65	63	65	65	60	69	66	66	68	67	63
	2	63	60	65	63	66	68	60	68	65	66	62	63
	3	61	64	60	61	62	62	67	65	61	64	60	62
CII	1	33	34	34	31	31	32	34	32	32	34	34	32
	2	31	32	31	31	32	33	33	31	30	31	30	32
	3	32	32	30	33	30	34	34	30	30	34	34	31
CIP	1	139	132	128	127	134	139	132	129	128	139	133	138
	2	134	120	133	138	122	130	130	123	131	139	127	121
	3	129	138	132	121	135	135	136	121	120	134	129	126
CIT	1	66	63	69	61	67	69	66	63	60	61	60	68
	2	67	64	66	64	61	69	63	67	60	64	65	63
	3	68	61	66	63	66	63	68	60	63	60	62	65
URL	1	64	65	66	63	64	65	68	63	69	68	64	63
	2	66	61	61	65	61	67	65	68	64	68	69	62
	3	66	63	68	62	66	66	60	67	65	60	60	61
CIV	1	60	68	67	61	61	67	62	60	60	63	66	67
	2	66	65	64	66	64	67	68	63	63	65	67	62
	3	62	62	64	67	63	66	66	66	63	62	67	61

Fonte: Os autores

5 PROGRAMAÇÃO DE CIRURGIAS ELETIVAS ORIENTADA POR DEMANDA

Guilherme V. Etcheverry, guilherme_etcheverry@yahoo.com.br

Michel J. Anzanello, *PhD*, michel.anzanello@gmail.com

Resumo

A gestão da demanda de cirurgias de um bloco cirúrgico (BC) é fundamental para o desempenho operacional e financeiro de um hospital. Este artigo apresenta uma abordagem sequencial em duas etapas para alocar blocos de tempo de salas de cirurgia (SC) às especialidades cirúrgicas de um BC e sequenciar suas cirurgias. Estes problemas são conhecidos como, respectivamente, *Master Surgery Scheduling Problem* (MSSP) e *Surgical Case Sequencing Problem* (SCSP). O MSSP é resolvido com um modelo de Programação Inteira que visa a minimizar o número de cirurgias não agendadas, em horizonte de programação semestral, restrito por um fator de demanda mínima por especialidade cirúrgica. O SCSP é resolvido com um modelo de Programação Linear que minimiza tempos de folga inseridos intencionalmente antes do início das cirurgias e identifica a sequência de menor *makespan* nos leitos da unidade de recuperação pós-anestésica (URPA). Os modelos são testados com dados de um hospital universitário nos fatores de atendimento mínimo da demanda de cirurgias de 60 e 80%, resultando em, respectivamente, 69,5 e 88,7% de atendimento da demanda de cirurgias eletivas das especialidades cirúrgicas do BC.

Palavras-chaves: Sequenciamento, MSSP, SCSP, cirurgias eletivas, bloco cirúrgico, demanda de cirurgias

Abstract

The management of surgical demand in an operating theatre (OT) is essential for hospital's operational and financial performance. This paper presents a two steps approach for scheduling surgical specialities to operating rooms (ORs), according to their demand of surgeries, and sequencing the surgeries allocated to ORs. These problems are known as MSSP (Master Surgery Scheduling Problem) and SCSP (Surgical Case Sequencing Problem), respectively. The MSSP is solved with an Integer Programming model which aims to minimise the unscheduled surgical demand, within a six months horizon, bounded by a factor of minimum surgical demand to be scheduled

per surgical speciality. For solving the SCSP, a Linear Programming model identify the sequence of surgeries yielding the lowest makespan of recovery beds in a post anaesthesia care unit (PACU) through minimising the amount of slack times intentionally inserted to postpone the starting time of the surgeries, in order to avoid PACU congestion due to unavailable recovery beds. The models were applied to an academic hospital data set yielding 69.5 and 88.7% minimum surgical demand when considering 60 and 80% of minimum surgical demand factors.

Key words: *Scheduling, MSSP, SCSP, elective surgeries, operating room, demand*

5.1 INTRODUÇÃO

A gestão de um bloco cirúrgico (BC) é fundamental para o desempenho operacional e financeiro de um hospital, pois o BC tipicamente concentra as maiores despesas e receitas do hospital. Usualmente, após a admissão o paciente é encaminhado para a sala de cirurgia (SC) e, após concluir o procedimento cirúrgico, ele é conduzido para um leito de recuperação da unidade de recuperação pós-anestésica (URPA). Em muitos casos, a demanda por cirurgias supera a capacidade do BC, gerando longas filas de espera. Neste contexto, é essencial utilizar eficientemente a capacidade das SC's e dos leitos da URPA para gerir a demanda de cirurgias, aumentar as receitas do hospital e reduzir custos (CARDOEN *et al.*, 2010; MIN e YIH, 2010a; DEMEULEMEESTER *et al.*, 2013; MESKENS *et al.*, 2013; ZHAO e LI, 2014).

Neste sentido, dois problemas relevantes no contexto da utilização eficiente dos recursos do BC são o *Master Surgery Scheduling Problem* (MSSP) e o *Surgical Case Sequencing Problem* (SCSP). O MSSP é um problema tático que se refere, na estratégia de planejamento por divisão de blocos de tempo, à geração de uma escala de alocação de blocos de tempo das SC's às especialidades cirúrgicas, normalmente em maior número do que as SC's, em base de tempo cíclica. Frequentemente a escala de alocação de blocos de tempo das SC's às especialidades cirúrgicas torna-se o padrão de trabalho do hospital, permanecendo inalterada por longos períodos. Contudo, escalas fixas por longos períodos são usualmente ineficientes, pois não consideram a variação da demanda de cirurgias ao longo do tempo, resultando em baixa utilização dos recursos do BC, criando longas filas de espera por cirurgias para algumas especialidades cirúrgicas e curtas para outras (BELIEN *et al.*, 2006; KHARRAJA *et al.*, 2006; CARDOEN *et al.*, 2010; FEI *et al.*, 2010; ROLAND *et al.*, 2010; MAY *et al.*, 2011; HOLTE e MANNINO, 2013; ARINGHIERI *et al.*, 2015; AHMADI-JAVID *et al.*, 2017).

Manter uma escala de alocação eficiente, que assegure divisão equitativa dos blocos de tempo das SC's entre as especialidades cirúrgicas, pode requerer a criação de diversas escalas de alocação diferentes ao longo do ano devido a flutuações na disponibilidade dos recursos do BC e na demanda de cirurgias (BLAKE e DONALD, 2002; BLAKE *et al.*, 2002). Imbuídos de tal objetivo, Blake e Donald (2002) propuseram um modelo de Programação Inteira (IP – *Integer Programming*) para minimizar o aumento (ou redução) de blocos de tempo das SC's alocados às especialidades cirúrgicas. Os autores creditam a aceitação do uso do método em um hospital no Canadá à equidade obtida com sua aplicação e à transparência com a qual o modelo apresenta as variações de número de blocos de tempo das SC's entre as especialidades cirúrgicas. Essa abordagem foi estendida por Blake *et al.* (2002), estabelecendo limites superiores e inferiores para a nova divisão dos blocos de tempo das SC's. Zhang *et al.* (2008) também utilizaram limites superiores e inferiores para alocação dos blocos de tempo das SC's para minimizar o tempo de permanência de pacientes nos leitos da URPA com um modelo de Programação Inteira Mista (MIP – *Mixed Integer Programming*).

O SCSP, o segundo tópico de interesse desse artigo, é um problema de nível operacional que objetiva sequenciar, em base diária ou semanal, as cirurgias das especialidades cirúrgicas alocadas aos blocos de tempo das SC's conforme a escala de alocação gerada pela solução do MSSP. Muitos hospitais selecionam os pacientes para as cirurgias eletivas através de um índice de priorização que pode considerar o tempo de espera na fila ou o tempo esperado de realização do procedimento cirúrgico. Contudo, há pouca consideração na literatura dos possíveis impactos do uso de critérios de priorização na formação de escalas cirúrgicas eficientes. De fato, o SCSP vem sendo tipicamente endereçado com métodos exatos e heurísticos, visando a maximizar a utilização de capacidade dos recursos físicos do BC, minimizar filas de espera por cirurgias e horas extras da força de trabalho (MACCORMICK *et al.*, 2003; MULLEN, 2003; HANS *et al.*, 2008; CARDOEN *et al.*, 2010; FEI *et al.*, 2010; ROLAND *et al.*, 2010; MIN e YIH, 2010b; MAY *et al.*, 2011; SHYLO *et al.*, 2013; VIJAYAKUMAR *et al.*, 2013; AHMADI-JAVID *et al.*, 2017).

A geração dos índices de priorização dos pacientes de cirurgias eletivas deve considerar elementos de transparência, equidade e o tempo de permanência na fila de espera (MULLEN, 2003). Com isso em mente, Marques *et al.* (2012) propuseram quatro níveis de priorização para maximizar a utilização das SC's, estabelecendo períodos de tempo entre três dias e um ano, respectivamente, para o agendamento de cirurgias eletivas de maior urgência e normais. Visando a minimizar o makespan dos pacientes e horas extras em um BC, Meskens *et al.*

(2013) classificaram as cirurgias em níveis de prioridade alta, média e baixa, sequenciando as cirurgias com alta e baixa prioridades, respectivamente, no início e no fim dos turnos de trabalhos, enquanto as cirurgias com prioridade média são realizadas no intervalo de tempo entre as anteriores. Agnetis *et al.* (2012) propuseram três modelos de decisão considerando critérios de priorização e o tempo esperado de realização das cirurgias para aumentar a utilização das SC's e aprimorar a pontualidade de início das cirurgias.

Muitos autores abordam o MSSP e o SCSP separadamente, sem considerar os impactos da escala de alocação na ocupação dos recursos à jusante das SC's, como nos leitos de recuperação da URPA. O congestionamento de leitos da URPA responde por cerca de 15% do tempo ocioso total das SC's, resultado da utilização de escalas de alocação que consideram apenas a capacidade utilizada nas SC's (PHAM e KLINKERT, 2008; GUERRIERO e GUIDO, 2011; MA e DEMEULEMEESTER, 2013; SPRATT e KOZAN, 2016).

Entre os autores que endereçaram os problemas MSSP e SCSP sequencialmente, Agnetis *et al.* (2014) apresentaram modelos baseados em Programação Inteira Binária (BIP – *Binary Integer Programming*) para programação semanal de cirurgias eletivas. Na primeira etapa, a resolução do MSSP utiliza limites inferiores e superiores para o número de turnos alocáveis por especialidade cirúrgica, enquanto que a solução do SCSP, na segunda etapa, seleciona as cirurgias, para posterior sequenciamento, resolvendo um problema da mochila, priorizando cirurgias com maiores tempos esperados de realização. Em outra abordagem para os problemas, Ma e Demeulemeester (2013) propuseram modelos de MIP para maximizar a contribuição financeira do BC para o hospital, levando em consideração o tempo esperado de permanência dos pacientes para balancear a utilização de capacidade dos leitos da URPA.

Neste artigo, o modelo proposto para solucionar o MSSP considera a demanda de cirurgias eletivas das especialidades cirúrgicas para alocar os blocos de tempo das SC's de modo a minimizar o número de cirurgias não agendadas no horizonte de tempo considerado na geração da escala de alocação. Uma restrição do modelo vincula a alocação dos blocos de tempo à demanda de cirurgias, pois evita criar escalas ineficientes ao considerar um limite inferior de turnos alocados por especialidade cirúrgica. Exemplificando, a distribuição de blocos de tempo das SC's deve atender pelo menos 70% da demanda de cirurgias eletivas da especialidade cirúrgica no horizonte considerado na criação da escala. A minimização do número de cirurgias não agendadas foi abordada por Kharraja *et al.* (2006) que apresentaram abordagens baseadas em IP, comparando estratégias de alocação de blocos de tempo

individualmente para os cirurgiões e para equipes cirúrgicas. A abordagem, contudo, não considera possíveis efeitos em áreas do BC, como nos leitos de recuperação da URPA.

Muitas cirurgias eletivas, e seus tempos de realização, se repetem diversas vezes ao longo de um ano (VAN OOSTRUM *et al.*, 2008). Neste sentido, o modelo proposto neste artigo para solucionar o SCSP cria um índice de priorização para as cirurgias das especialidades cirúrgicas, computando o desvio percentual entre o tempo real da cirurgia e o tempo médio de realização do procedimento cirúrgico, com base em tempos históricos de realização do procedimento cirúrgico. Quanto menor for o desvio entre o tempo real e o tempo médio de cirurgia, maior será seu índice de priorização. Assim, o modelo seleciona as cirurgias com os maiores valores do índice de priorização, de uma lista de espera das especialidades cirúrgicas alocados pelo MSSP, e as sequencia nas SC's com objetivo de minimizar o *makespan* do tempo esperado de permanência dos pacientes nos leitos de recuperação da URPA. Neste trabalho, o tempo esperado de permanência dos pacientes nos leitos na URPA é expresso como um fator do tempo esperado de cirurgia da especialidade cirúrgica, por exemplo, 30% maior, sendo, desta forma, conhecido com antecedência. A previsibilidade do tempo de permanência dos pacientes nos leitos de recuperação da URPA é utilizada como restrição no modelo para o MSSP, vinculando os dois problemas, MSSP e SCSP. Essa restrição impede o modelo para o MSSP de alocar no mesmo turno de trabalho combinações de especialidades cirúrgicas com longos tempos esperados de permanência na URPA, visando a impedir que uma SC seja bloqueada devido à indisponibilidade de leitos de URPA.

Com base nas referências supracitadas, não foram encontradas na literatura abordagens de solução sequencial dos problemas MSSP e SCSP com as mesmas características descritas neste artigo. De fato, muitas abordagens de otimização focam nas SC's e nos leitos de URPA separadamente, sem considerar os potenciais efeitos do sequenciamento das cirurgias nas SC's na utilização de capacidade da URPA, assim como também não foram encontradas abordagens considerando simultaneamente a demanda de cirurgias e indicadores de priorização de pacientes na forma como são apresentadas neste artigo (MACCORMICK *et al.*, 2003; MULLEN, 2003; CARDOEN *et al.*, 2010; FEI *et al.*, 2010; MAY *et al.*, 2011; DEMEULEMEESTER *et al.*, 2013; AHMADI-JAVID *et al.*, 2017).

Este artigo contribui com uma nova abordagem sequencial de solução dos problemas MSSP e SCSP. O modelo de otimização proposto para solucionar o MSSP vincula os dois problemas através de uma restrição que visa a impedir o bloqueio das SC's por indisponibilidade de leitos da URPA. O modelo para o MSSP considera o tempo esperado de permanência na

URPA antes de alocar as especialidades cirúrgicas aos blocos de tempo das SC's com objetivo de minimizar o número de cirurgias não agendadas no horizonte de programação considerado e contempla o atendimento de uma demanda mínima de cirurgias por especialidade cirúrgica para evitar a criação de escalas ineficientes de alocação de blocos de tempo das SC's. Na segunda etapa da abordagem proposta, o modelo para resolver o SCSP seleciona, através do índice de priorização, as cirurgias das especialidades cirúrgicas alocadas previamente pelo modelo do MSSP e as sequencia nas SC's. O modelo de Programação Linear (LP – *Linear Programming*) identifica a sequência de cirurgias que minimiza o *makespan* do tempo de permanência dos pacientes nos leitos de recuperação da URPA, levando em consideração os tempos esperados de higienização das SC's e dos leitos da URPA. A formulação proposta intencionalmente insere tempos de folga antes do início das cirurgias permitindo, caso necessário, postergar o início das cirurgias de modo a evitar o bloqueio das SC's por indisponibilidade de leitos de recuperação da URPA.

5.2 MODELOS DE OTIMIZAÇÃO

Os modelos propostos solucionam os problemas MSSP e SCSP em duas etapas sequenciais. Na primeira etapa, para solucionar o MSSP, o modelo em IP considera a demanda de blocos de tempo das SC's para criar uma escala de alocação dos blocos de tempo das SC's às especialidades cirúrgicas do BC com o objetivo de minimizar o número de cirurgias não agendadas no horizonte de tempo considerado na criação da escala.

A solução do SCSP, na segunda etapa, gera os tempos das cirurgias, através de amostragem aleatória das distribuições de probabilidade que representam os tempos históricos das cirurgias das especialidades cirúrgicas, e calcula o seu índice de priorização. As cirurgias são ordenadas e selecionadas pelo índice de priorização conforme a escala de alocação resultante da solução do MSSP. Por fim, o modelo em LP otimiza a sequência de execução das cirurgias através da minimização dos tempos de folga intencionalmente utilizados para postergar o início das cirurgias e identifica a sequência de menor *makespan* nos leitos da URPA.

Os modelos de otimização propostos para solucionar os problemas MSSP e SCSP, apresentados respectivamente nas seções 5.2.1 e 5.2.2 apoiam-se nas seguintes premissas:

- Todos os turnos de trabalho possuem igual duração e cada bloco de tempo das SC's alocado a uma especialidade cirúrgica corresponde a um turno de trabalho.
- Uma cirurgia, uma vez iniciada, não pode ser interrompida.

- A ocupação de um leito da URPA inicia tão logo uma cirurgia tenha sido concluída. Essa premissa desconsidera o tempo de transporte necessário para o deslocamento do paciente desde a SC até o leito de recuperação da URPA.
- Todas as SC's são recebidas higienizadas ao início dos turnos de trabalho e são higienizadas novamente após cada cirurgia. Os leitos da URPA são higienizados a cada troca de pacientes.
- Todos os leitos da URPA estão higienizados e disponíveis para uso ao início do primeiro turno de todos os dias de trabalho.
- Os recursos físicos do BC, como SC's, leitos de recuperação e equipamentos, estão disponíveis durante todo o período do turno de trabalho.
- As equipes cirúrgicas, de enfermagem e de higienização estão disponíveis durante todo o período do turno de trabalho.

5.2.1 Modelagem do MSSP

A primeira etapa foca na solução do *Master Surgery Scheduling Problem* (MSSP). O objetivo desta etapa é gerar uma escala de alocação de especialidades cirúrgicas aos blocos de tempo das SC's para minimizar o número de cirurgias não agendadas no horizonte de programação considerado na geração da escala de alocação. O modelo em IP desenvolvido para solucionar o MSSP considera restrições relativas ao atendimento de demanda mínima mensal de blocos de tempo das SC's por especialidade cirúrgica e da disponibilidade de leitos de recuperação da URPA para suportar a realização dos procedimentos cirúrgicos das especialidades cirúrgicas alocadas aos blocos de tempo das SC's. Neste sentido, o modelo vincula os problemas MSSP e SCSP através de uma restrição que leva em consideração o tempo esperado de permanência do paciente nos leitos de recuperação da URPA para alocar as especialidades cirúrgicas aos blocos de tempo das SC's.

Assumindo que os tempos de realização dos procedimentos cirúrgicos da especialidade n ($n \in N$) são normalmente distribuídos, o tempo esperado de cirurgia t_n é o tempo referencial utilizado para calcular o número esperado de cirurgia por turno c_n , calculado pela equação (1).

$$c_n = \text{int} \left(\frac{st}{t_n + ht} \right) \quad (1)$$

A premissa de que uma cirurgia, uma vez iniciada, não possa ser interrompida, faz com que o cálculo de c_n da equação (1) considere apenas a parte inteira da divisão do tempo do turno st pela soma de t_n com o tempo de higienização ht . No entanto, em alguns casos pode ser

conveniente alocar dois blocos de tempo consecutivos das SC's a uma mesma especialidade cirúrgica, desde que seja possível realizar uma cirurgia adicional àquelas esperadas pelo valor inteiro de c_n em um turno isolado. Tal situação ocorre quando a diferença entre o valor calculado de c_n , sem a condição de integralidade c'_n , e o valor de c_n calculado pela equação (1) é maior ou igual a 0,5 cirurgias. O cálculo de $c'_n - c_n$ é mostrado na equação (2).

$$c'_n - c_n = \left(\frac{st}{t_n + ht} \right) - int \left(\frac{st}{t_n + ht} \right) \geq 0,5 \quad (2)$$

O valor de t_n , por sua vez, resulta da definição de um percentil p da distribuição dos tempos de realização dos procedimentos cirúrgicos da especialidade n , localizado entre a mediana e o terceiro quartil, com o objetivo de obter elevado valor de ocupação de capacidade da SC até o limite de 90% de ocupação, de forma a permitir, em nível operacional, flexibilidade na ordenação e no planejamento do horário de início das cirurgias. O valor estimado de capacidade da SC, C_{SC} , com base em c_n , é calculada pela equação (3).

$$C_{SC} = \frac{c_n \cdot (t_n + ht)}{st} \quad (3)$$

Assim, a escolha do percentil da distribuição dos tempos de realização dos procedimentos cirúrgicos impacta diretamente nos valores de t_n e c_n , de forma que valores elevados do percentil resultam em valores elevados de t_n e valores reduzidos de c_n , assim como valores reduzidos do percentil resultam em valores reduzidos de t_n e valores elevados de c_n , impactando, em ambos os casos, no valor de C_{SC} . Neste sentido, antes da escolha do percentil p e de t_n , os dados históricos do hospital acadêmico referentes aos tempos de execução dos procedimentos cirúrgicos e aos tempos de permanência dos pacientes nos leitos da URPA são analisados com objetivo de excluir dados inconsistentes como, por exemplo, tempo de cirurgia igual a zero e dados espúrios (x_{esp}) identificados através das inequações (4) e (5).

$$x_{esp} < Q1 - 1,5 \cdot (Q3 - Q1) \quad (4)$$

$$x_{esp} > Q3 + 1,5 \cdot (Q3 - Q1) \quad (5)$$

Como resultado, os dados que distam além de 1,5 vezes o intervalo interquartil (Q3-Q1) abaixo do primeiro quartil (Q1) e acima do terceiro quartil (Q3) são considerados dados espúrios e excluídos da análise apresentada na seção 5.3 (PYZDEK, 2000).

O modelo para solucionar o MSSP é definido pelas equações (6) a (12):

$$\min [\sum_h \sum_n d_{nh} - \sum_h \sum_n \sum_w c_n \cdot x_{nw} - \sum_n c_b \cdot x_{nw}] \quad (6)$$

$$\text{s.t. } \sum_w \sum_n x_{nw} = R \quad (7)$$

$$\sum_n x_{nw} \leq S_n, \quad w \in W \quad (8)$$

$$\sum_w \sum_n c_n \cdot x_{nw} \cdot (t_n + ht) \cdot (1 + \beta_n) \cdot (1 - \alpha_n) \leq st \cdot B \quad (9)$$

$$\sum_h \sum_n \sum_w c_n \cdot x_{nw} \leq \sum_h \sum_n d_{nh} \quad (10)$$

$$\sum_h \sum_n \sum_w c_n \cdot x_{nw} \geq \text{int}(\gamma_n \cdot \sum_h \sum_n d_{nh}) \quad (11)$$

$$x_{nw} \in Z^+ \quad (12)$$

A função objetivo do modelo (6) visa a minimizar o número de cirurgias não agendadas, cujo valor é calculado subtraindo-se o total de cirurgias esperadas com as alocações dos blocos de tempo das SC's ($\sum_h \sum_n \sum_w c_n \cdot x_{nw}$) e o total de cirurgias adicionais realizadas em blocos de tempo consecutivos nas SC's ($\sum_n c_b \cdot x_{nw}$) da demanda total de cirurgias d_{nh} no horizonte de programação h . A restrição de disponibilidade das SC's (7) impede a ociosidade dos blocos de tempo das SC's, igualando o número de alocações por turno ao número de SC's disponíveis R , enquanto que a restrição (8) limita o número de equipes S_n das especialidades cirúrgicas alocáveis aos blocos de tempo das SC's no mesmo turno de trabalho.

A restrição de disponibilidade de leitos da URPA (9) limita o tempo requerido para recuperação dos pacientes ao tempo total de todos os B leitos da URPA disponíveis no turno de trabalho. Essa restrição efetivamente vincula os dois problemas, MSSP e SCSP, ao considerar o tempo esperado de recuperação dos pacientes na URPA previamente à alocação dos blocos de tempo das SC's para não alocar simultaneamente aos blocos de tempo das SC's combinações de especialidades cirúrgicas cujos tempos esperados de recuperação excedam o tempo disponível dos leitos da URPA nos turnos de trabalho. O tempo esperado de recuperação dos pacientes na URPA resulta da multiplicação de t_n pelos fatores $(1+\beta_n)$ e $(1-\alpha_n)$, onde β_n representa o tempo adicional do paciente na URPA em relação aos tempos históricos de cirurgia e α_n representa o percentual esperado de pacientes que não utilizam os leitos de recuperação da URPA.

As restrições de demanda (10) e (11) referem-se, respectivamente, ao atendimento máximo e mínimo da demanda de cirurgias através das alocações de blocos de tempo das SC's em h . Na restrição (10), o número de cirurgias alocáveis de uma especialidade cirúrgica limita-se à sua própria demanda em h , enquanto a restrição (11) se refere ao atendimento de um valor mínimo da demanda de cirurgias através das alocações de blocos de tempo das SC's, a qual assegura que uma parcela da demanda total de cirurgias seja atendida em h . Como não faz sentido prático alocar um número fracionário de blocos de tempo das SC's, a demanda

mínima a ser atendida pela restrição (11) resulta da parte inteira da multiplicação do fator de demanda mínima γ_n pela demanda total de blocos de tempo da especialidade cirúrgica n em h , d_{nh} , com $0 < \gamma_n \leq 1$. O fator de demanda mínima γ_n pode diferir de valor entre as especialidades cirúrgicas, respeitando limites legais ou premissas definidas pelo programador, assim como pode assumir o mesmo valor para todas as especialidades cirúrgicas. Por fim, a restrição (12) se refere às variáveis de decisão inteiras do modelo, os blocos de tempo das SC's.

A aplicação do modelo para o MSSP resulta em uma escala de alocação de blocos de tempo das SC's entre as especialidades cirúrgicas em um horizonte de tempo determinado pelo programador de cirurgias do BC. Contudo, flutuações na demanda de cirurgias e na disponibilidade de recursos podem defasar a escala atual em relação aos seus objetivos. Neste sentido, o programador pode utilizar periodicamente o modelo como ferramenta de avaliação da aderência da escala à demanda atual de cirurgias, comparando uma nova escala com a escala atual para decidir pela sua manutenção ou substituição.

5.2.2 Modelagem do SCSP

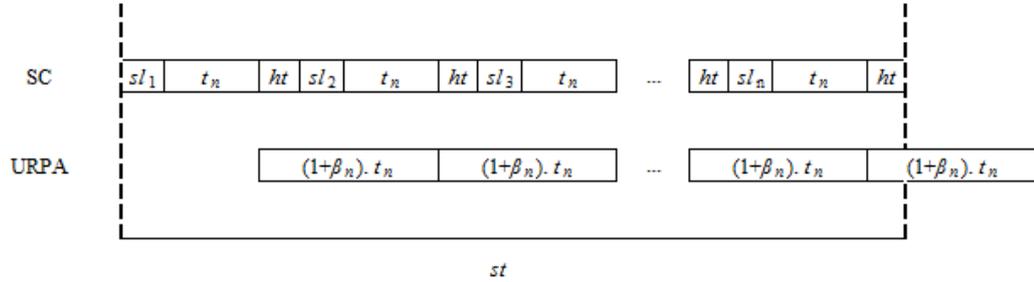
A segunda etapa do método proposto lida com o *Surgical Case Sequencing Problem* (SCSP) com objetivo de sequenciar as cirurgias das especialidades cirúrgicas alocadas aos blocos de tempo das SC's resultantes da solução do MSSP. Com este objetivo, o modelo de LP leva em consideração a disponibilidade de leitos de URPA e os tempos de higienização das SC's e dos leitos da URPA, respectivamente, ht e ct , para sequenciar as cirurgias nas SC's e identificar a sequência de menor *makespan* nos leitos da URPA.

O fluxo do paciente entre SC's e URPA é mostrado na Figura 5.1. O tempo total de realização de uma cirurgia é composto por um tempo de folga (sl_s) antes de seu início e o tempo esperado de sua realização t_n . Ao final da cirurgia, a SC é higienizada pelo período de tempo ht e a SC é disponibilizada para a cirurgia subsequente. Assim, ao final de t_n , a cirurgia é concluída e o paciente é transferido para um leito disponível da URPA, onde irá permanecer por $(1+\beta_n).t_n$.

A SC é utilizada desde o início do primeiro turno de trabalho do dia, enquanto a URPA só recebe o primeiro paciente em $sl_1 + t_n$. Essa defasagem de tempo permite que o período de permanência dos últimos pacientes do turno possa invadir o tempo do turno seguinte, como ocorre na barra à direita que atravessa a linha vertical tracejada na Figura 5.1. Por este motivo, os tempos de folga são utilizados como variáveis de decisão do modelo, de modo que o tempo

de início de uma cirurgia possa ser postergado ($sl_s > 0$) intencionalmente visando a minimizar o *makespan* de ocupação dos leitos da URPA.

Figura 5.1: Fluxo do paciente entre SC's e URPA



Fonte: Os autores

Desta forma, o modelo para o SCSP cria uma sequência diária de cirurgias, gerada sequencialmente ao longo dos sd turnos de trabalho do dia, considerando que os turnos subsequentes ao primeiro estão sujeitos a restrições de disponibilidade de leitos da URPA que ainda estejam ocupados por pacientes do turno anterior. O sequenciamento das cirurgias visa a minimizar os tempos de folga para identificar a sequência de menor *makespan* de ocupação dos leitos da URPA.

Inicialmente o modelo cria o conjunto de cirurgias S_{nh} , com tempos de cirurgia t_s obtidos por amostragem aleatória da distribuição de probabilidade que representa os tempos históricos de cirurgias das especialidades cirúrgicas. A diferença relativa entre t_s e μ_n é considerada no cálculo do índice de priorização das cirurgias i_{snh} pela equação (13). O índice de priorização das cirurgias i_{snh} assume valor mais elevado quando o valor de t_s se aproxima do valor de μ_n e, por outro lado, assume valores menores quando o valor de t_s se distancia do valor de μ_n .

$$i_{snh} = 1 - \frac{|t_s - \mu_n|}{\mu_n} \quad (13)$$

Seguindo a escala de alocação dos blocos de tempo das SC's às especialidades cirúrgicas, resultante da solução do MSSP, as cirurgias de maior i_{snh} são selecionadas de S_{nh} e suas permutações são geradas com objetivo de calcular o tempo esperado de encerramento das cirurgias. A premissa de que as SC's estão higienizadas no início dos turnos de trabalho faz com que o tempo de encerramento da primeira cirurgia das SC's seja calculado pela soma de sl_s and t_n , enquanto que o tempo de encerramento das demais cirurgias do turno considere a soma de sl_s, t_n e ht .

Na sequência, o modelo em LP para resolver o SCSP, apresentado nas equações (14) a (19), minimiza os tempos de folga das sequências de todas as SC's, tendo o tempo de folga da cirurgia s da especialidade cirúrgica alocada à sala r no turno w como variável de decisão.

$$\min \sum_r \sum_s x_{srw}, \quad w \in W \quad (14)$$

$$\text{s.t. } \sum_s (x_{srw} + t_s) + c_n \cdot ht \leq st, \quad n \in N, r \in R, w \in W, \quad (15)$$

$$[(x_{(s+1)rw} + t_{(s+1)}) - (x_{srw} + t_s)] \geq ht, \quad n \in N, r \in R, w \in W, s \in \{1, \dots, S-1\} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} [(x_{srw} + t_s) - (x_{(s(w-1)-B+s)r(w-1)} + [1 + (1 + \beta_n)] \cdot t_{(s(w-1)-B+s)} + ct)] \geq 0, \\ sd > 1, r \in R, w \in W, s \in \{1, \dots, B\} \end{aligned} \quad (17)$$

$$[(x_{srw} + t_s) - (x_{(s-B)rw} + [1 + (1 + \beta_n)] \cdot t_{(s-B)} + ct)] \geq 0, \quad r \in R, w \in W, s \in \{B + 1, \dots, S\} \quad (18)$$

$$x_{srw} \in \mathbb{R}^+ \quad (19)$$

A função objetivo (14) visa a minimizar a soma dos tempos de folga usados intencionalmente para postergar o início das cirurgias. A restrição de disponibilidade de tempo das SC's (15) limita a soma dos tempos de folga, dos tempos de cirurgia e de limpeza das SC's ao tempo total do turno st , enquanto a restrição (16) estabelece um intervalo mínimo entre encerramentos consecutivos de cirurgias, independente da SC de sua realização, para impedir a postergação de início de uma cirurgia por aguardar o serviço de higienização da SC. Do ponto de vista prático, esta restrição viabiliza a utilização de equipe única de limpeza por turno de trabalho.

A restrição de disponibilidade de leitos da URPA (17), válida para os turnos subsequentes ao primeiro turno do dia ($sd > 1$), estabelece que os tempos de encerramento das primeiras B cirurgias dos turnos subsequentes ao primeiro sejam maiores que os tempos esperados de desocupação e higienização dos leitos da URPA dos últimos B pacientes do turno anterior. Em termos práticos, essa restrição estabelece que os primeiros B pacientes entrantes na URPA irão ocupar os leitos dos últimos B pacientes do turno anterior, na sequência de sua desocupação. A restrição (18) estabelece similar condição à restrição (17), porém com aplicação válida a partir do paciente $B+1$ do turno em questão. Por fim, a restrição (19) estabelece a não negatividade das variáveis de decisão do modelo, os tempos de folga antes do início das cirurgias.

Concluída a otimização dos tempos de folga, a sequência viável de menor *makespan* de ocupação dos leitos da URPA é escolhida a solução do problema. O modelo do SCSP apresenta como resultado um gráfico de Gantt com a sequência de realização das cirurgias por

SC e a sequência esperada de ocupação dos leitos da URPA por dia de trabalho. Os valores de ocupação de SC's (C_{SC}) e URPA (C_{URPA}) da sequência de menor *makespan* dos leitos da URPA por turno de trabalho são calculados, respectivamente, pelas equações (20) e (21).

$$C_{SC} = \frac{\sum_r \sum_s (x_{srw} + t_s + ht)}{R.st}, w \in W \quad (20)$$

$$C_{URPA} = \frac{\sum_r \sum_s [(1 + \beta_n) \cdot t_s + ct]}{B.st}, n \in N, w \in W \quad (21)$$

A C_{SC} calcula a razão entre a soma dos tempos utilizados nas SC's em folgas (x_{srw}), realização de cirurgias (t_s) e higienização (ht), e o tempo disponível das SC's. De forma análoga, C_{URPA} calcula a razão entre a soma dos tempos de permanência dos pacientes nos leitos e o tempo total disponível dos leitos de recuperação da URPA.

O tempo adicional de permanência do paciente na URPA em relação ao tempo de cirurgia, fator $(1 + \beta_n)$, e a relação numérica entre leitos de recuperação da URPA e SC's, relação B/R, impactam diretamente nos valores de C_{SC} e C_{URPA} de um BC. Em BC's com baixa relação B/R, valores elevados de $(1 + \beta_n)$ aumentam o tempo de ocupação dos leitos e, por consequência, o valor de C_{URPA} , porém podem gerar atrasos no início de cirurgias ou impedir a sua realização, reduzindo o valor de C_{SC} . De outra forma, valores reduzidos de $(1 + \beta_n)$ geram períodos de ociosidade dos leitos da URPA, reduzindo o valor de C_{URPA} , indicando que a relação B/R do BC possa estar superdimensionada. Como efeito, tal situação pode requerer o acréscimo de uma restrição ao modelo do MSSP limitando o valor de $(1 + \beta_n)$ das combinações de especialidades cirúrgicas alocadas simultaneamente aos turnos das SC's conforme a capacidade disponível de SC's e leitos de recuperação da URPA.

5.3 RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados da aplicação dos modelos de otimização a um conjunto de dados históricos de tempos dos procedimentos cirúrgicos e de permanência dos pacientes nos leitos da URPA de um hospital acadêmico, coletados entre 2009 e 2013. Os modelos de otimização para solucionar o MSSP e o SCSP foram desenvolvidos em MATLAB[®] R2014a e testados em processador intel[®] Core i5 450M com 4GB de memória RAM, considerando que as especialidades cirúrgicas realizam cirurgias eletivas cinco dias por semana ($wd=5$) em três turnos diários ($sd=3$) de seis horas ($st=360$), enquanto que a URPA opera ininterruptamente.

As especialidades cirúrgicas consideradas no estudo são: cirurgia do aparelho digestivo (CAD), cirurgia buco maxilo facial (BUC), cirurgia cardiovascular (CCV), colo-proctologia (PRO), cirurgia geral (CIG), ginecologia (SGO), mastologia (MST), neurocirurgia (NCI), ortopedia (ORT), otorrinolaringologia (OTO), cirurgia pediátrica (CII), cirurgia plástica (CIP), cirurgia torácica (CIT), urologia (URL) e cirurgia vascular (CIV).

Tabela 5.1: Estatística descritiva dos tempos nas SC's e URPA

Esp. Cir.	Tempos SC				Tempos URPA				α	β
	Q1	Q2	Q3	\bar{x}	Q1	Q2	Q3	\bar{x}		
CAD	1h50	2h27	3h27	2h43	3h11	4h04	5h10	4h24	0,10	0,62
BUC	2h05	2h37	3h46	3h03	3h10	4h10	4h54	4h15	0	0,39
CCV	0h55	1h12	1h30	1h14	2h21	3h05	4h11	3h24	0,25	1,76
PRO	1h15	2h25	4h24	2h52	3h26	4h35	6h10	4h57	0,05	0,73
CIG	1h47	2h20	2h56	2h25	3h05	4h00	5h03	4h11	0	0,73
SGO	1h26	2h05	2h50	2h10	3h21	4h17	5h14	4h25	0	1,04
MST	1h50	2h15	2h45	2h18	3h05	3h51	4h42	4h00	0	0,74
NCI	2h45	4h05	5h05	4h00	3h16	4h20	5h16	4h26	0,45	0,11
ORT	2h20	3h05	3h50	3h05	3h27	4h29	5h52	4h50	0	0,57
OTO	1h54	2h30	3h20	2h38	2h44	3h32	4h29	3h42	0	0,41
CII	0h48	1h05	1h25	1h09	2h13	2h55	3h57	3h09	0	1,74
CIP	2h20	3h15	4h30	3h25	3h03	3h48	4h48	3h59	0	0,17
CIT	1h25	1h50	2h25	2h08	2h49	3h47	4h59	4h08	0,12	0,94
URL	1h35	2h21	3h22	2h34	3h35	4h40	6h00	4h58	0,05	0,94
CIV	1h38	2h25	3h15	2h33	3h40	4h53	7h24	6h37	0,25	1,59

Fonte: Os autores

A Tabela 5.1 apresenta a estatística descritiva dos tempos de execução dos procedimentos cirúrgicos e dos tempos de permanência nos leitos da URPA aplicados aos modelos, após a exclusão dos dados espúrios. Na tabela são apresentados os três quartis e as médias das distribuições dos tempos dos procedimentos cirúrgicos nas SC's e dos tempos de permanência dos pacientes na URPA das especialidades cirúrgicas. As duas últimas colunas da tabela apresentam, respectivamente, o valor de α , extraído dos dados históricos do hospital acadêmico, e o valor de β , calculado pela divisão da média do tempo de permanência da URPA pela média do tempo de cirurgia das especialidades cirúrgicas.

Com base nos dados da Tabela 5.1 identifica-se, para cada especialidade cirúrgica, o percentil p que corresponde ao valor de t_n , apresentado na Tabela 5.2, utilizado para calcular os valores de c_n e C_{sc} , respectivamente, pelas equações (1) e (3), considerando $st = 360$ e $ht = 5$.

Tabela 5.2: Valores de p , t_n e c_n utilizados pelo modelo de otimização

Esp.	p	t_n	c_n	C_{sc}	Esp.	p	t_n	c_n	C_{sc}	Esp.	p	t_n	c_n	C_{sc}
CAD	54	2h37	2	90,0%	SGO	68	2h37	2	90,0%	CII	66	1h16	4	90,0%
BUC	75	3h46	1	64,2%	MST	70	2h37	2	90,0%	CIP	63	3h55	1	66,7%
CCV	75	1h30	3	79,2%	NCI	75	5h05	1	86,1%	CIT	73	2h21	2	81,1%
PRO	52	2h37	2	90,0%	ORT	75	3h50	1	65,3%	URL	50	2h21	2	81,1%
CIG	62	2h37	2	90,0%	OTO	54	2h37	2	90,0%	CIV	58	2h37	2	90,0%

Fonte: Os autores

Na sequência, as seções 5.3.1 e 5.3.2 apresentam a aplicação dos métodos propostos ao BC supracitado considerando valores do fator de demanda mínima γ_n de 0,60 e 0,80.

5.3.1 MSSP

O modelo para solucionar o MSSP utiliza os resultados do dimensionamento do número de SC's e leitos de recuperação da URPA e do correspondente número de blocos de tempo das SC's destinados às especialidades cirúrgicas provenientes da aplicação do modelo de planejamento estratégico de recursos do Capítulo 4.

A escala de alocação semanal de blocos de tempo das SC's considera a demanda de um semestre de cirurgias, expressa na forma de demanda semanal de blocos de tempo das SC's, utilizando até três equipes cirúrgicas ($S_n=3$) da mesma especialidade por turno de trabalho. A demanda semanal de blocos de tempo das SC's resulta da divisão da demanda para 36 meses, mostrada na Tabela 4.3 do Capítulo 4, por 150 semanas, considerando-se 50 semanas de operação do BC por ano. Como o BC realiza cirurgias eletivas durante cinco dias por semana em três turnos diários, tem-se 15 blocos de tempo por SC's que devem ser integralmente alocados às especialidades cirúrgicas.

A Tabela 5.3 apresenta os resultados obtidos com $\gamma_n \in \{0,60, 0,80\}$ para a demanda semanal de blocos de tempo das SC's e para o dimensionamento do número de SC's (R) e leitos de recuperação da URPA (B), apresentados, respectivamente nas Tabelas 4.4 e 4.3 do Capítulo 4. As escalas geradas com $\gamma_n = 0,60$ e $\gamma_n = 0,80$ diferem entre si no número de SC's,

respectivamente, 12 e 16 SC's, e, por consequência, no número total de blocos de tempo semanais disponíveis para alocação, respectivamente, 180 e 240 blocos.

Tabela 5.3: Demanda semanal de blocos de tempo das especialidades cirúrgicas no horizonte de programação

γ_n	CAD	BUC	CCV	PRO	CIG	SGO	MST	NCI	ORT	OTO	CII	CIP	CIT	URL	CIV	R	B
0,60	9	21	6	9	9	9	9	23	18	9	4	20	9	9	9	12	16
0,80	12	28	8	12	12	12	12	29	25	12	6	29	12	12	12	18	24

Fonte: Os autores

A Tabela 5.4 apresenta a escala de alocação semanal dos blocos de tempo das SC's, com $\gamma_n = 0,60$, a qual considera um BC com 12 SCs e 18 leitos de recuperação da URPA. A tabela apresenta diversas ocorrências de alocações de blocos de tempo consecutivos das SC's às mesmas especialidades cirúrgicas do BC. No entanto, apenas as especialidades cirurgia buco maxilo facial (BUC), cirurgia cardiovascular (CCV), ortopedia (ORT), cirurgia plástica (CIP) e cirurgia torácica (CIT) apresentam valores de $c_n^2 - c_n$, calculados pela equação (2), que podem resultar na realização de uma cirurgia adicional quando são alocados blocos de tempos consecutivos das SC's a essas especialidades cirúrgicas.

Tabela 5.4: Escala de alocação semanal dos blocos de tempo das SC's com $\gamma_n = 0,60$

Dia	SC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SEG	M	BUC	BUC	BUC	NCI	NCI	NCI	CIP	CIP	CIP	CIV	CIV	CIV
	T	BUC	BUC	BUC	NCI	NCI	NCI	CIP	CIP	CIP	CIG	CIG	CIG
	N	SGO	SGO	SGO	MST	MST	MST	ORT	ORT	ORT	URL	CIG	CIG
TER	M	CCV	CCV	CCV	PRO	PRO	PRO	OTO	OTO	OTO	CIT	CIT	CIT
	T	BUC	BUC	BUC	MST	MST	MST	NCI	NCI	NCI	CIP	CIP	CIP
	N	CAD	CAD	CAD	SGO	SGO	BUC	ORT	ORT	ORT	URL	URL	URL
QUA	M	BUC	BUC	CCV	CCV	CCV	SGO	CII	CII	CII	CIP	CIP	CIP
	T	CAD	CAD	CAD	NCI	NCI	NCI	ORT	ORT	ORT	CIG	CIP	CIP
	N	CAD	CAD	CAD	OTO	NCI	NCI	ORT	ORT	ORT	CIV	CIV	CIV
QUI	M	BUC	BUC	BUC	PRO	PRO	PRO	CIP	CIP	CIP	CIT	CIT	CIT
	T	SGO	MST	MST	MST	NCI	NCI	NCI	ORT	ORT	ORT	URL	URL
	N	SGO	CIG	CIG	CIG	OTO	OTO	OTO	ORT	ORT	ORT	CII	URL
SEX	M	CCV	CCV	CCV	PRO	PRO	PRO	SGO	URL	URL	CII	CIT	CIT
	T	CCV	BUC	BUC	BUC	NCI	NCI	NCI	OTO	OTO	CIT	CII	CII
	N	CIP	BUC	BUC	BUC	NCI	NCI	NCI	CIP	CIP	CIV	CIV	CIV

Fonte: Os autores

A influência da restrição de disponibilidade de leitos da URPA (9) na alocação dos blocos de tempo das SC's, apresentada na Tabela 5.4, é evidenciada pela repetidas alocações de grupos, ou combinações, de especialidades cirúrgicas. Os grupos com quatro especialidades cirúrgicas reunindo (i) cirurgia buco maxilo facial (BUC), neurocirurgia (NCI), cirurgia plástica (CIP) e cirurgia vascular (CIV), e (ii) ginecologia (SGO), ortopedia (ORT), urologia (URL) e cirurgia geral (CIG) repetem-se em 2 dos 15 turnos semanais, enquanto que os grupos com três especialidades cirúrgicas (iii) cirurgia do aparelho digestivo (CAD), neurocirurgia (NCI) e ortopedia (ORT), e (iv) cirurgia cardiovascular (CCV), colo-proctologia (PRO) e cirurgia torácica (CIT) repetem-se em 2 dos turnos da semana.

Tabela 5.5: Escala de alocação semanal dos blocos de tempo das SC's com $\gamma_n = 0,80$

SC	Turno	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SC	Turno	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
1	M	BUC	BUC	BUC	BUC	PRO	9	M	ORT	CII	MST	MST	MST
	T	BUC	BUC	BUC	BUC	BUC		T	PRO	ORT	NCI	ORT	MST
	N	SGO	CAD	PRO	CAD	BUC		N	PRO	ORT	NCI	ORT	ORT
2	M	BUC	BUC	BUC	BUC	PRO	10	M	ORT	CII	MST	MST	MST
	T	BUC	BUC	BUC	SGO	BUC		T	PRO	ORT	NCI	ORT	CCV
	N	SGO	CAD	OTO	CAD	BUC		N	PRO	ORT	NCI	ORT	ORT
3	M	BUC	BUC	BUC	BUC	PRO	11	M	CIP	CIP	CII	CII	CIT
	T	BUC	BUC	BUC	SGO	BUC		T	CIP	CIP	ORT	CIT	CCV
	N	OTO	CAD	OTO	CAD	BUC		N	URL	OTO	ORT	OTO	CIP
4	M	CIG	CCV	CCV	CCV	CIG	12	M	CIP	CIP	CII	CIT	CIT
	T	CIG	CIG	CAD	SGO	CCV		T	CIP	CIP	ORT	CIT	CIP
	N	MST	SGO	CAD	SGO	SGO		N	URL	OTO	ORT	OTO	CIP
5	M	NCI	CCV	CCV	PRO	CIG	13	M	CIP	CIP	CII	CIT	URL
	T	NCI	NCI	CAD	NCI	NCI		T	CIP	CIP	ORT	CIT	CIP
	N	MST	SGO	CAD	NCI	NCI		N	URL	OTO	ORT	OTO	CIP
6	M	NCI	CCV	CCV	PRO	CIG	14	M	CIV	CIT	CIP	URL	URL
	T	NCI	NCI	CAD	NCI	NCI		T	PRO	CIT	CIP	CIP	CIV
	N	MST	NCI	CAD	NCI	NCI		N	PRO	URL	CIV	CIP	CIV
7	M	NCI	SGO	SGO	CIG	SGO	15	M	CIV	CIT	CIP	URL	CIT
	T	NCI	NCI	CIG	NCI	NCI		T	CIG	CIT	CIP	CIP	CIV
	N	OTO	NCI	OTO	NCI	NCI		N	CIG	URL	CIV	CIP	CIV
8	M	ORT	CII	MST	MST	MST	16	M	CIV	CIT	CIP	URL	URL
	T	ORT	ORT	NCI	ORT	MST		T	CIG	CIT	CIP	CIP	CIV
	N	OTO	ORT	NCI	ORT	ORT		N	CIG	URL	CIV	CIP	CIV

Fonte: Os autores

A Tabela 5.5 mostra a escala de alocação semanal dos blocos de tempo das SC's às especialidades cirúrgicas do BC com $\gamma_n = 0,80$. De forma análoga à escala de alocação da Tabela 5.4, gerada com $\gamma_n = 0,60$, a escala de alocação semanal dos blocos de tempo das SC's da Tabela 5.5 também apresenta diversas ocorrências de blocos de tempos consecutivos das SC's destinados às especialidades cirúrgicas, e de repetidas alocações de grupos ou combinações de especialidades cirúrgicas com o objetivo de satisfazer a restrição de disponibilidade de leitos da URPA (9) do modelo MSSP.

As combinações das especialidades (v) cirurgia buco maxilo facial (BUC), neurocirurgia (NCI), ortopedia (ORT) e cirurgia plástica (CIP) são alocadas em 6 dos 15 turnos da Tabela 5.5, enquanto que outras três combinações são alocadas em 2 turnos da tabela: (vi) cirurgia geral (CIG), mastologia (MST), cirurgia torácica (CIT) e urologia (URL), (vii) cirurgia buco maxilo facial (BUC), cirurgia cardiovascular (CCV), mastologia (MST) e cirurgia plástica (CIP), e (viii) ginecologia (SGO), neurocirurgia (NCI), ortopedia (ORT) e otorrinolaringologia (OTO).

A Tabela 5.6 apresenta a distribuição dos blocos de tempo das SC's entre as especialidades cirúrgicas, resultante da aplicação do modelo para o MSSP. Os dados da tabela mostram que o número de blocos de tempo das SC's alocados às especialidades cirúrgicas é idêntico à sua demanda para ambos os valores de γ_n utilizados pelo modelo, exceto para as especialidades cirurgia cardiovascular (CCV) e cirurgia pediátrica (CII), especialidades cirúrgicas as quais o modelo alocou blocos de tempo remanescentes da escala assim que as demais especialidades cirúrgicas atenderam a restrição (11), de demanda mínima de blocos de tempo das SC's. Com $\gamma_n = 0,80$, o modelo alocou dois blocos de tempo das SC's adicionais à demanda mínima para as especialidades mastologia (MST) e cirurgia torácica (CIT).

Tabela 5.6: Blocos de tempo das SC's alocados às especialidades cirúrgicas

γ_n	CAD	BUC	CCV	PRO	CIG	SGO	MST	NCI	ORT	OTO	CII	CIP	CIT	URL	CIV	Blocos
0,60	9	21	10	9	9	9	9	23	18	9	7	20	9	9	9	180
0,80	12	28	10	12	12	12	14	29	25	12	7	29	14	12	12	240

Fonte: Os autores

A Tabela 5.7 mostra o número esperado de cirurgias e o percentual de atendimento da demanda resultante da aplicação das escalas semanais de alocação dos blocos de tempo das SC's das Tabelas 5.4 e 5.5.

Tabela 5.7: Cirurgias esperadas por especialidade cirúrgica e o atendimento % da demanda de cirurgias

	γ_n	CAD	BUC	CCV	PRO	CIG	SGO	MST	NCI	ORT	OTO	CII	CIP	CIT	URL	CIV
Cirurgias	0,60	18	27	30	18	18	18	18	23	24	18	28	25	18	18	18
Esperadas	0,80	24	31	30	24	24	24	28	29	31	24	28	31	31	24	24
Atendimento	0,60	58,1	87,1	100,0	58,1	58,1	60,0	60,0	76,7	77,4	60,0	90,3	80,6	58,1	58,1	60,0
Demanda [%]	0,80	77,4	100,0	100,0	77,4	77,4	80,0	93,3	96,7	100,0	80,0	90,3	100,0	100,0	77,4	80,0
Demanda Semanal		31	31	30	31	31	30	30	30	31	30	31	31	31	31	30

Fonte: Os autores

Na Tabela 5.7, os percentuais de atendimento da demanda das especialidades cirurgia do aparelho digestivo (CAD), colo-proctologia (PRO), cirurgia geral (CIG), cirurgia torácica (CIT) e urologia (URL) são ligeiramente inferiores aos valores de γ_n devido à exclusão da parte fracionária do cálculo de atendimento mínimo da demanda da restrição (11) do modelo. No entanto, as especialidades ginecologia (SGO), otorrinolaringologia (OTO) e cirurgia vascular (CIV) apresentaram percentuais de atendimento da demanda exatamente no valor estabelecido de γ_n , enquanto as especialidades cirurgia buco maxilo facial (BUC), cirurgia cardiovascular (CCV), ortopedia (ORT), cirurgia plástica (CIP) e cirurgia torácica (CIT) superaram os valores de γ_n , beneficiando-se das cirurgias adicionais realizáveis com a alocação de blocos de tempo consecutivos das SC's. As especialidades mastologia (MST) e cirurgia torácica (CIT), por sua vez, apresentaram percentuais de atendimento da demanda acima de γ_n , resultado da alocação de maior número de blocos de tempo a estas especialidades cirúrgicas. Por fim, os valores da função objetivo do modelo MSSP, o número de cirurgias não agendadas, para $\gamma_n \in \{0,60; 0,80\}$ são, respectivamente, 140 e 52 cirurgias, correspondendo a 30,5 e 11,3% de cirurgias não agendadas no período considerado na geração das escalas de alocação, ou, de forma equivalente, ao atendimento de 69,5 e 88,7% da demanda de cirurgias eletivas.

5.3.2 SCSP

O modelo do SCSP gera cinco sequências ($wd=5$) de três turnos cada ($sd=3$), para as escalas de alocação de blocos de tempo das SC's resultantes do modelo do MSSP. A natureza combinatorial do método proposto para solução do SCSP resulta em um problema cujo sequenciamento das permutações das cirurgias de todas as SC's juntas requer elevado número de horas para sua solução. Neste sentido, a solução do SCSP aqui apresentada fraciona o problema total em subgrupos com quatro salas de cirurgia ($R=4$) e seis leitos de recuperação

da URPA ($B=6$), dentre os quais são apresentados os resultados das sequências de um dia da semana das SC's 2, 6, 7 e 10, da escala de alocação de tempo das SC's com $\gamma_n = 0,60$, e das SC's 3, 8, 14 e 15 da escala de alocação de tempo das SC's com $\gamma_n = 0,80$. Resultados similares aos aqui apresentados são obtidos para os demais dias da semana de ambas as escalas.

A Tabela 5.8 apresenta os tempos das cirurgias e seus respectivos i_{snh} , calculados pela equação (13), para o primeiro turno da escala de alocação das Tabelas 5.4 e 5.5. As cirurgias são apresentadas em ordem decrescente de i_{snh} e os valores de t_s são gerados por amostragem aleatória das distribuições de probabilidades definidas por μ_n e σ_n (ver Tabela 5.1). As cirurgias são selecionadas para o sequenciamento de acordo com o c_n das especialidades cirúrgicas.

Tabela 5.8: Tempo das cirurgias t_s (em minutos) e i_{snh} das cirurgias do primeiro turno da semana

Nr.	$\gamma_n = 0,60$								$\gamma_n = 0,80$							
	BUC		NCI		CIP		CIV		BUC		ORT		CIV		CIV	
	t_s	i_{snh}	t_s	i_{snh}	t_s	i_{snh}	t_s	i_{snh}	t_s	i_{snh}	t_s	i_{snh}	t_s	i_{snh}	t_s	i_{snh}
1	190	0,962	230	0,958	205	1,000	151	0,987	190	0,962	184	0,995	151	0,987	162	0,941
2	193	0,945	225	0,938	210	0,976	150	0,980	193	0,945	199	0,924	150	0,980	167	0,909
3	198	0,918	217	0,904	214	0,956	160	0,954	198	0,918	205	0,892	160	0,954	171	0,882
4	204	0,885	215	0,896	214	0,956	160	0,954	204	0,885	206	0,887	160	0,954	174	0,863
5	161	0,880	268	0,883	196	0,956	160	0,954	161	0,880	206	0,887	160	0,954	131	0,856

Fonte: Os autores

As Tabelas 5.9 e 5.10 mostram os valores da ocupação de capacidade de SC's e URPA, resultantes da solução do SCSP para $\gamma_n \in \{0,60; 0,80\}$.

Tabela 5.9: Capacidade percentual utilizada nas SC's e leitos da URPA para $\gamma_n = 0,60$

Turno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Média
SC 2	54,2	75,6	75,8	67,5	39,4	95,8	36,7	96,4	87,8	22,5	59,4	76,4	68,3	92,8	90,8	69,3
SC 6	65,3	65,3	74,4	98,3	60,6	26,4	75,8	65,3	78,9	96,9	62,2	90,3	71,1	59,7	55,6	69,7
SC 7	58,3	58,3	52,5	90,3	65,3	56,9	92,3	52,5	62,2	58,3	63,6	91,7	92,3	61,1	56,9	67,5
SC 10	86,4	76,4	78,6	81,1	58,3	88,9	58,3	76,4	86,4	75,8	52,5	42,5	94,5	75,8	86,4	74,6
C_{SC}	66,0	68,9	70,4	84,3	55,9	67,0	65,8	72,6	78,8	63,4	59,4	75,2	81,6	72,4	72,4	70,3
C_{URPA}	72,4	62,5	81,5	99,5	49,2	74,6	71,1	73,1	90,4	66,9	53,3	74,7	101,6	69,7	81,3	74,8

Fonte: Os autores

Os valores médios de ocupação de capacidade das SC's, mostrados na Tabela 5.9, diferem pouco entre si, com alternância entre valores baixos e altos de ocupação individual de capacidade das SC's entre os turnos de trabalho, resultando em ocupação média de capacidade de 70,3%. Os valores baixos de ocupação individual de capacidade ocorrem no turno 12 da SC 10, com cirurgias de curta duração da especialidade cirurgia ortopedia (ORT), na SC 2, nos turnos 5, 7 e 10, e no turno 6 da SC 6 com cirurgias de curta duração da especialidade cirurgia buco maxilo facial (BUC). No caso da URPA, a ocupação média de capacidade é de 74,8%, com elevados valores de ocupação individuais nos turnos 4, 9 e 13, este último com valor de ocupação de capacidade acima de 100%, resultado da utilização parcial do tempo dos leitos de recuperação do turno subsequente, decorrente do número de cirurgias realizadas no mesmo turno de trabalho com a alocação das especialidades cirurgia cardiovascular (CCV), colo-proctologia (PRO), ginecologia (SGO) e cirurgia pediátrica (CII).

A Tabela 5.10 mostra que a solução do SCSP com $\gamma_n = 0,80$ apresenta ocupação média de capacidade das SC's de 72,7% e ocupação média de capacidade da URPA de 82,0%. Nas SC's, duas apresentam valores médios de ocupação de capacidade em torno de 65%, as SC's 3 e 8, enquanto outras duas SC's, 14 e 15, apresentam valores médios de ocupação de capacidade em torno de 80%. De forma similar à solução do SCSP com $\gamma_n = 0,60$, mostrada na Tabela 5.8, valores baixos de ocupação individual de capacidade das SC's da Tabela 5.10 ocorrem nos turnos 4, 5 e 10 da SC 3 com a ocorrência de cirurgias de curta duração da especialidade cirurgia buco maxilo facial (BUC).

Tabela 5.10: Capacidade percentual utilizada nas SC's e leitos da URPA para $\gamma_n = 0,80$

Turno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Média
SC 3	54,2	61,7	90,0	43,3	22,5	79,4	68,3	65,0	90,3	37,5	74,7	93,1	81,1	61,7	58,1	65,4
SC 8	52,5	52,5	92,4	97,3	52,5	52,5	79,2	66,4	61,7	79,2	52,5	52,5	79,7	52,5	52,5	65,1
SC 14	86,4	98,3	97,2	78,3	75,8	88,9	58,3	58,3	86,4	88,9	58,3	58,3	94,5	86,4	96,4	80,7
SC 15	87,8	96,4	76,4	86,5	77,2	90,3	59,7	59,7	87,8	90,3	59,7	59,7	75,8	87,8	97,8	79,5
C_{SC}	70,2	77,2	89,0	76,4	57,0	77,8	66,4	62,4	81,5	74,0	61,3	65,9	82,8	72,1	76,2	72,7
C_{URPA}	99,2	79,7	91,3	81,0	64,5	91,4	61,0	49,7	105,2	87,8	61,2	61,1	96,6	100,9	100,1	82,0

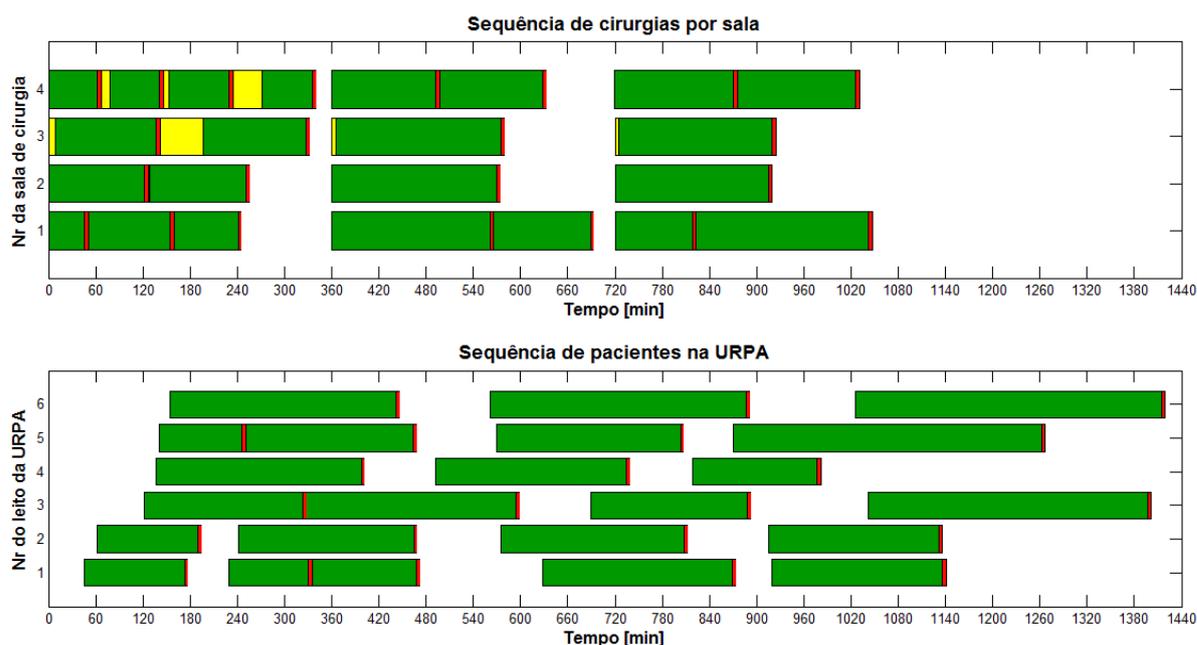
Fonte: Os autores

A alocação aos mesmos turnos de trabalho de especialidades cirúrgicas com longos tempos de cirurgia e longos tempos de permanência dos pacientes nos leitos de recuperação resulta em elevados valores de ocupação de capacidade da URPA, como no caso dos turnos 1, 9, 14 e 15.

Em todas essas situações a especialidade cirurgia vascular (CIV) é alocada juntamente com as especialidades cirurgia buco maxilo facial (BUC) e ortopedia (ORT) nos turnos 1 e 15, otorrinolaringologia (OTO) e neurocirurgia (NCI) no turno 9, e cirurgia buco maxilo facial (BUC) e mastologia (MST) no turno 14.

As Figuras 5.2 e 5.3 mostram as seqüências de cirurgias do quinto dia de trabalho da semana, que resultam no menor *makespan* dos leitos da URPA para $\gamma_n \in \{0,60; 0,80\}$. Em ambas as figuras a seqüência de cirurgias nas SC's é mostrada na parte superior, enquanto que a seqüência de ocupação dos leitos da URPA é mostrada na parte inferior. As barras amarelas se referem aos tempos de folga utilizados intencionalmente para postergar o início das cirurgias, as barras verdes se referem aos tempos de cirurgia nas SC's e de recuperação nos leitos da URPA, e as barras vermelhas representam os tempos de higienização, tanto nas SC's como nos leitos da URPA.

Figura 5.2: Seqüência de cirurgias do quinto dia da semana para $\gamma_n = 0,60$

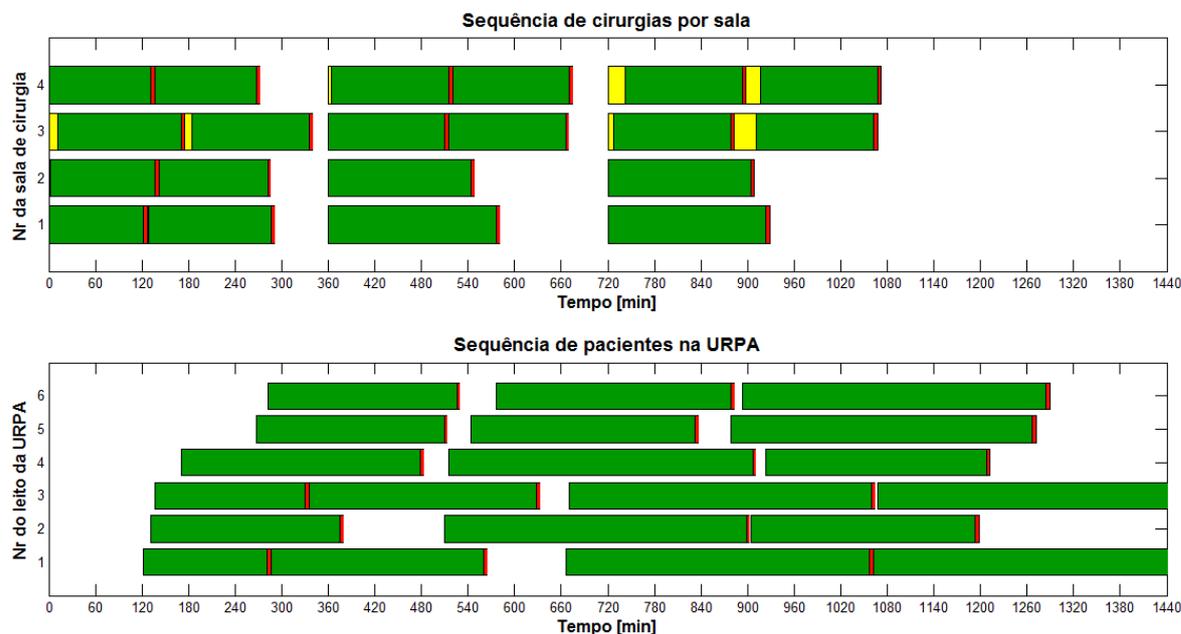


Fonte: Os autores

O elevado número de cirurgias programadas para o turno do dia da Figura 5.2 ocupa plenamente a capacidade da URPA requerendo, inclusive, a utilização de tempos de folga para postergar o início de cirurgias das SC's 7 e 10 (SC's números 3 e 4 na Figura 5.2) e evitar o bloqueio dessas SC's por indisponibilidade de leitos de recuperação. Como consequência, uma das cirurgias do primeiro turno utiliza cerca de dois terços do tempo do leito número 3 no turno subsequente. No entanto, a utilização do tempo do leito de recuperação no turno subsequente é compensada pelo menor número de cirurgias dos turnos

seguintes, apesar dos longos tempos de utilização dos leitos de recuperação apresentadas pelas últimas duas cirurgias do último turno do dia.

Figura 5.3: Sequência de cirurgias do quinto dia da semana para $\gamma_n = 0,80$



Fonte: Os autores

De forma análoga à Figura 5.2, as postergações de início de cirurgias no primeiro e no terceiro turno da Figura 5.3 resultam em elevada utilização dos leitos nos dois últimos turnos do dia e além do horário de utilização das SC's, após o terceiro turno. A utilização dos leitos de recuperação da URPA nos turnos subsequentes aos turnos das cirurgias enfatiza a influência do fator $(1+\beta_n)$ na ocupação dos leitos da URPA e no fluxo de pacientes do BC.

5.4 CONCLUSÃO

Este artigo propõe uma abordagem de planejamento de cirurgias eletivas solucionando os problemas MSSP e SCSP em duas etapas sequenciais. A primeira etapa lida com o MSSP, problema tático de criação de uma escala cíclica de alocação de blocos de tempo das SC's às especialidades cirúrgicas de um BC. A segunda etapa foca no SCSP, problema operacional de sequenciamento das cirurgias das especialidades cirúrgicas alocadas às SC's pela solução do MSSP na etapa anterior.

O modelo em IP para solucionar o MSSP considera em sua formulação a demanda de cirurgias, potenciais cirurgias adicionais realizáveis em turnos de alocação consecutiva de especialidades cirúrgicas e a disponibilidade de recursos do BC, SC's e leitos de recuperação

da URPA, para minimizar o número de cirurgias não agendadas no horizonte de programação considerado na criação da escala de alocação. Na sequência, o modelo em LP para solucionar o SCSP sequencia as cirurgias das especialidades cirúrgicas, alocadas pela solução do MSSP, selecionadas em função de um índice de priorização relativo ao tempo de execução do procedimento cirúrgico. O modelo minimiza os tempos de folga inseridos intencionalmente antes do início das cirurgias com objetivo de identificar a sequência de realização das cirurgias que resulte no menor *makespan* dos leitos da URPA, de modo a impedir o bloqueio das SC's por indisponibilidade temporária dos leitos de recuperação da URPA.

A abordagem proposta vincula os dois problemas, MSSP e SCSP, por intermédio de uma restrição no modelo para o MSSP que considera o tempo esperado de recuperação dos pacientes nos leitos da URPA antes de alocar os blocos de tempo das SC's às especialidades cirúrgicas. Os modelos são testados utilizando dados de um hospital universitário em horizonte de programação de seis meses visando ao atendimento mínimo de 60 e 80% da demanda de cirurgias das especialidades cirúrgicas, resultando entre 11,3 e 30,5% de cirurgias não agendadas no período, correspondendo, respectivamente, ao atendimento 69,5 e 88,7% da demanda de cirurgias das especialidades cirúrgicas.

A abordagem apresentada pode ser expandida com a inclusão de novas características restritivas com impacto no planejamento de cirurgias de um BC. Extensões dos modelos propostos podem considerar diferentes perfis de comportamento da demanda de cirurgias ao longo do tempo, diferentes distribuições estatísticas que representam os tempos de realização dos procedimentos cirúrgicos e diferentes distribuições estatísticas para representar subgrupos de procedimentos cirúrgicos das especialidades cirúrgicas. Da mesma forma, a compatibilidade entre especialidades cirúrgicas e SC's deve ser considerada para gerar as escalas de alocação, além da disponibilidade de equipamentos, equipes cirúrgicas, equipes de enfermagem e de outros recursos provenientes de áreas auxiliares do BC tais como banco de sangue, farmácia e esterilização de instrumentais cirúrgicos.

5.5 REFERÊNCIAS

AGNETIS, A.; COPPI, A.; CORSINI, M.; DELLINO, G.; MELONI, C.; PRANZO, M. *Long term evaluation of operating theatre planning policies*. Operations Research for Health Care 1 (2012) 95-104

_____. *A decomposition approach for the combined master surgical schedule and surgical case assignment problems*. Health Care Manag Sci 17 (2014) 49-59

AHMADI-JAVID, A.; JALALI, Z.; KLASSEN, K. J. *Outpatient appointment systems in healthcare: a review of optimization studies*. European Journal of Operational Research 258 (2017) 3-34

ARINGHERI, R.; LANDA, P.; SORIANO, P.; TÀN FANI, E.; TESTI, A. *A two level metaheuristic for the operating room scheduling and assignment problem*. Computers & Operations Research 54 (2015) 21-34

BELIEN, J.; DEMEULEMEESTER, E.; CARDOEN, B. *Visualizing the demand for various resources as a function of the master surgery schedule: a case study*. J Med Syst 30 (2006) 343-350

BLAKE, J. T.; DEXTER, F.; DONALD, J. *Operating room managers' use of integer programming for assigning block time to surgical groups: a case study*. Anesth Analg 94 (2002) 143-148

BLAKE, J. T.; DONALD, J. *Mount Sinai hospital uses integer programming to allocate operating room time*. Interfaces 2 (2002) 63-73

CARDOEN, B.; DEMEULEMEESTER, E.; BELIËN, J. *Operating room planning and scheduling: a literature review*. European Journal of Operational Research 201 (2010) 921-932

DEMEULEMEESTER, E.; BELIËN, J.; CARDOEN, B.; SAMUDRA, M. *Operating Room Planning and Scheduling*. Handbook of Healthcare Operations Management: Methods and Applications 121-152. New York: Springer, 2013

FEI, H.; MESKENS, N.; CHU, C. *A planning and scheduling problem for an operating theatre using open scheduling strategy*. Computers & Industrial Engineering 58 (2010) 221-230

GUERRIERO, F.; GUIDO, R. *Operational research in the management of the operating theatre: a survey*. Health Care Manag Sci 14 (2011) 89-114

HANS, E.; WULLINK, G.; HOUDENHOVEN, M. V.; KAZEMIER, G. *Robust surgery loading*. European Journal of Operational Research 185 (2008) 1038-1050

HOLTE, M.; MANNINO, C. *The implementor/adversary algorithm for the cyclic and robust scheduling problem in health care.* European Journal of Operational Research 226 (2013) 551-559

KHARRAJA, S.; ALBERT, P.; CHAABANE, S. *Block scheduling: toward a master surgical schedule.* Proceedings of International Conference on Service Systems and Service Management, Vols 1 and 2, 2006

MA, G.; DEMEULEMEESTER, E. *A multilevel integrative approach to hospital case mix and capacity planning.* Computers & Operations Research 40 (2013) 2198-2207

MACCORMICK, A. D.; COLLECUT, W. G.; PARRY, B. R. *Prioritizing patients for elective surgery: a systematic review.* J Surg 73 (2003) 633-642

MARQUES, I.; CAPTIVO, M. E.; PATO, M. V. *An integer programming approach to elective surgery scheduling.* OR Spectrum 34 (2012) 407-427

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 3 (2011) 392-405

MESKENS, N.; DUDIVIER, D.; HANSET, A. *Multi-objective operating room scheduling considering desiderata of the surgical team.* Decision Support Systems 55 (2013) 650-659

MIN, D.; YIH, Y. *Scheduling elective surgery under uncertainty and downstream capacity constraints.* European Journal of Operational Research 206 (2010a) 642-652

_____. *An elective surgery scheduling problem considering patient priority.* Computers & Operations Research 37 (2010b) 1091-1099

MULLEN, P. M. *Prioritising waiting lists: how and why?* European Journal of Operational Research 150 (2003) 32-45

OOSTRUM, J. M. V.; HOUDENHOVEN, M. V.; HURINK, J. L.; HANS, E. W.; WULINK, G.; KAZEMIER, G. *A master surgical scheduling approach for cyclic scheduling in operating room departments.* OR Spectrum 30 (2008) 355-374

PHAM, D. N.; KLINKERT, A. *Surgical case scheduling as a generalized job shop scheduling problem.* European Journal of Operational Research 185 (2008) 1011-1025

PYZDEK, T. *Quality Engineering Handbook.* New York: Quality Publishing LLC. 2000

ROLAND, B.; MARTINELLI, C.; RIANE, F.; POCHE, Y. *Scheduling an operating theatre under human resource constraints.* Computers & Industrial Engineering 58 (2010) 212-220

SHYLO, O.V.; PROKOPYEV, O. A.; SCHAEFER, A. *Stochastic operating room scheduling for high-volume specialties under block booking.* INFORMS Journal of Computing 4 (2013) 682-692

SPRATT, B.; KOZAN, E. *Waiting list management through master surgical schedules: a case study.* Operations Research for Health Care 10 (2016) 49-64

VIJAYAKUMAR, B.; PARIKH, P. J.; SCOTT, R.; BARNES, A.; GALLIMORE, J. *A dual bin-packing approach to scheduling surgical cases at a publicly-funded hospital.* European Journal of Operational Research 224 (2013) 583-591

ZHANG, B.; MURALI, P.; DESSOUKY, M.; BELSON, D. *A mixed integer programming approach for allocating operating room capacity.* J Oper Res Soc 60 (2008) 663-673

ZHAO, Z.; LI, X. *Scheduling elective surgeries with sequence-dependent setup times to multiple operating rooms using constraint programming.* Operations Research for Health Care 3 (2014) 160-167

6 UMA ABORDAGEM DE OTIMIZAÇÃO PARA OS PROBLEMAS MSSP E SCSP

Guilherme V. Etcheverry, guilherme_etcheverry@yahoo.com.br

Michel J. Anzanello, *PhD*, michel.anzanello@gmail.com

Resumo

Este artigo apresenta uma abordagem de otimização para resolução em duas etapas sequenciais dos problemas MSSP (*Master Surgery Scheduling Problem*) e SCSP (*Surgical Case Sequencing Problem*) em bloco cirúrgico (BC) hospitalar. O MSSP é resolvido com Programação Inteira com objetivo de maximizar a realização de cirurgias eletivas semanais, enquanto que o SCSP é resolvido com Programação Linear com o objetivo de identificar a sequência de realização de cirurgias que resulta no menor *makespan* de ocupação dos leitos da unidade de recuperação pós-anestésica (URPA). Os modelos são testados em diferentes estruturas de recursos físicos do BC, utilizando dados históricos de um hospital universitário da região de Porto Alegre. A aplicação dos modelos resulta em maior número de cirurgias semanais e maior ocupação de capacidade de salas de cirurgia e leitos de recuperação da URPA do que os resultados obtidos com os modelos sob abordagem de atendimento da demanda de cirurgias do Capítulo 5. Os resultados servem como referenciais de potenciais desempenhos do BC sob uma ou outra abordagem de programação de cirurgias eletivas auxiliando o planejador de cirurgias a identificar a estratégia mais adequada para maximizar a utilização dos recursos físicos e o atingimento das metas de desempenho do BC.

Palavras-chaves: Sequenciamento, MSSP, SCSP, cirurgias eletivas, bloco cirúrgico

Abstract

This article presents a two steps optimised approach to solve MSSP (Master Surgery Scheduling Problem) and SCSP (Surgical Case Sequencing Problem) problems in an operating theatre. MSSP is solved with Integer Programming aiming to maximise weekly elective surgeries performance, while SCSP uses Linear Programming to identify the sequence with lower bed occupancy makespan in post anaesthesia care unit (PACU). The application of the models yields higher number of weekly performed surgeries and higher capacity occupation in operating rooms and PACU recovery beds than the approach for solving the same problems presented in the Chapter 5. The results may be taken as reference

of operating theatre performance once adopting any of the approaches compared, and may support the surgery planner in choosing the most appropriate approach to maximise the capacity utilisation of the physical resources and reach operating theatre's performance goals.

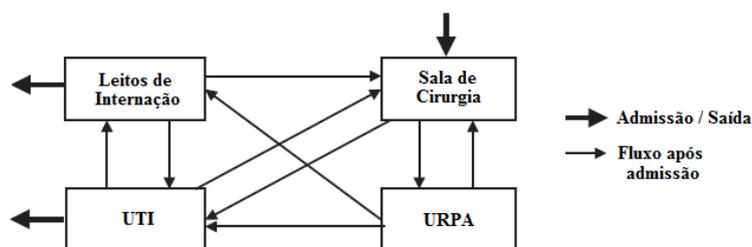
Key words: Scheduling, MSSP, SCSP, elective surgeries, operating room

6.1 INTRODUÇÃO

A gestão de um bloco cirúrgico (BC) hospitalar é extremamente importante e complexa, na medida em que o BC gera as maiores despesas e receitas de um hospital, lida com recursos escassos e com a gestão de prioridades conflitantes. Neste sentido, o BC de um hospital vivencia diariamente duas situações: a gestão de capacidade dos recursos físicos, relacionada à utilização de salas de cirurgia (SC's), leitos da unidade de recuperação pós-anestésica (URPA) e equipamentos, e a eficiência no uso dos recursos humanos, relativo às escalas da força de trabalho e suas limitações legais (PINEDO, 2005; CARDOEN *et al.*, 2010; DEMEULEMEESTER *et al.*, 2013; BERTSIMAS *et al.*, 2014).

O fluxo de um paciente dentro de um BC hospitalar pode ser esquematicamente representado pela Figura 6.1. Ao chegar ao BC, o paciente de uma cirurgia eletiva é encaminhado para a área de preparação da cirurgia e, posteriormente, conduzido à SC. Ao final do procedimento cirúrgico, o paciente é encaminhado para a URPA ou, conforme seu estado clínico, para a unidade de tratamento intensivo (UTI). Por fim, o paciente pode deixar o hospital ou ser encaminhado para um leito de internação (JEBALI *et al.*, 2006; PHAM e KLINKERT, 2008; SAREMI *et al.*, 2013; ZHAO e LI, 2014).

Figura 6.1: Fluxo do paciente em um BC hospitalar



Fonte: Adaptado de Jebali *et al.* (2006)

A questão central é sincronizar o uso dos diferentes recursos requeridos de forma simultânea, como SC's, leitos, equipamentos, cirurgiões, enfermeiros e anestesistas. Nesse contexto, a

bem sucedida aplicação de técnicas de sequenciamento ao BC pode resultar em diversos benefícios, como aumento da utilização da capacidade, diminuição da demanda de pessoal e aumento da lucratividade (PINEDO, 2005; BERTSIMAS *et al.*, 2014).

Três estratégias de planejamento tático são usualmente utilizadas na gestão de um BC hospitalar: (i) sequenciamento sem restrições (*open scheduling* - OS), (ii) sequenciamento por blocos de tempo (*block scheduling* - BS) e (iii) sequenciamento por blocos de tempo modificados (*modified block scheduling* - MBS). No OS as cirurgias são agendadas por ordem de confirmação. De outra forma, o BS aloca intervalos de tempo fixos a especialidades cirúrgicas em períodos cíclicos de tempo, enquanto que o MBS realoca períodos de tempo não utilizados dos blocos pré-alocados para outras especialidades médicas (KHARRAJA *et al.*, 2006; FEI *et al.*, 2010; ROLAND *et al.*, 2010).

O BS, foco deste artigo, compreende diversos problemas, de acordo com o nível de planejamento e horizonte de tempo considerado. Dois destes problemas se referem, respectivamente, aos planos tático e operacional, em horizontes de médio e curto prazo: o *Master Surgery Scheduling Problem* (MSSP) e o *Surgical Case Sequencing Problem* (SCSP). O MSSP se refere ao problema de alocação de blocos de tempo das SC's às especialidades cirúrgicas, usualmente em maior número do que as SC's, em período de tempo cíclico que normalmente varia entre um e seis meses. As especialidades cirúrgicas competem entre si pelos blocos de tempo das SC's visando a cumprir metas operacionais do BC, como, por exemplo, maximização de cirurgias semanais ou redução da fila de espera (CARDOEN *et al.*, 2010; MAY *et al.*, 2011).

O SCSP, por sua vez, se refere ao problema de designação e sequenciamento das cirurgias alocadas às SC's, usualmente em períodos semanais ou diários. A designação das cirurgias às SC's utiliza um critério de seleção que pode considerar, por exemplo, tempo esperado de realização da cirurgia, tempo de espera na fila, entre outros. A ordenação das cirurgias observa a expectativa de disponibilidade de leitos da URPA e eventuais conflitos na utilização de recursos compartilhados como equipamentos e instrumentais cirúrgicos (CARDOEN *et al.*, 2010; MAY *et al.*, 2011).

Diversas publicações em MSSP e SCSP têm objetivos relacionados à capacidade de utilização dos recursos físicos, como SC's, URPA e UTI, enquanto que outros se direcionam para objetivos relacionados a custos operacionais ou de mão de obra (AGNETIS *et al.*, 2012; BANDITORI *et al.*, 2013; HOLTE e MANNINO, 2013; FÜGENER *et al.*, 2014). Dentre os diversos estudos que abordaram o MSSP, van Houdenhoven *et al.* (2008) propuseram um

método baseado em Geração de Colunas (CG – *Column Generation*) para maximizar a utilização das SC's e minimizar a demanda por leitos de UTI. O tempo de espera na fila foi estudado por Agnetis *et al.* (2012) que compararam três modelos de decisão com objetivo de aumentar a utilização das SC's e a pontualidade de realização das cirurgias, considerando tempo de espera na fila, prioridade, tempo esperado de realização do procedimento e data de agendamento e por Tànfani e Testi (2010) que propuseram um método combinando Programação Inteira Binária (BIP – *Binary Integer Programming*) e uma heurística para o MSSP em dias específicos da semana, de acordo com sua expectativa de permanência, tempo de espera na fila de cirurgias e status de urgência.

Para maximizar o número de cirurgias realizadas, Banditori *et al.* (2013) propuseram um método para solucionar o MSSP em horizonte mensal combinando Programação Inteira Mista (MIP – *Mixed Integer Programming*) com simulação, enquanto van Oostrum *et al.* (2008) apresentaram um método em duas etapas baseado em Programação Inteira (IP – *Integer Programming*)/MIP para solucionar o MSSP visando maximizar a utilização de capacidade das SC's e balancear a necessidade de leitos de recuperação. Na primeira etapa o problema formulado em IP é resolvido com CG e, na segunda etapa, o problema é formulado como MIP. Objetivos relacionados a custos foram abordados por Holte e Mannino (2013) que também utilizaram CG para solucionar o MSSP com objetivo de minimizar os custos das filas de espera e por Fügener *et al.* (2014) que consideraram o efeito do MSSP no fluxo do paciente pela URPA, utilizando *Branch and Bound* (B&B) e *Simulated Annealing* (SA) para minimizar os custos das áreas de internação e UTI, simulando os métodos propostos em diferentes cenários.

As abordagens de solução do SCSP tipicamente consideram a maximização da capacidade das SC's e a minimização de horas extras, utilizando métodos exatos, baseados em IP, MIP e BIP, e heurísticos (HANS *et al.*, 2008; PHAM e KLINKERT, 2008; FEI *et al.*, 2009; 2010; SOUKI e REBAI, 2009; SU *et al.*, 2011; JEANG e CHIANG, 2012; MARQUES *et al.*, 2012; MESKENS *et al.*, 2013; SHYLO *et al.*, 2013; VIJAYAKUMAR *et al.*, 2013). Com o objetivo de maximizar a utilização dos recursos físicos do BC, M'Hallah e Al-Roomi (2014) simularam um modelo de duas etapas para o SCSP, sequenciando as cirurgias com base em amostras aleatórias da distribuição do tempo esperado de sua realização, enquanto Jebali *et al.* (2006) incorporaram o objetivo de reduzir custos ao mesmo objetivo.

Com objetivos similares, Dai *et al.* (2013) propuseram um modelo de BIP visando a aumentar a utilização das SC's, enquanto Min e Yih (2010a) simularam modelos de MIP para

solucionar o SCSP para minimizar o custo total relacionado ao paciente e os custos de horas extras. O método proposto considera incertezas em relação à duração das cirurgias e a disponibilidade de leitos de URPA/UTI. Com vistas à minimização do custo de horas extras e do custo de adiamento de cirurgias, Min e Yih (2010b) propuseram um método de Programação Dinâmica (DP – *Dynamic Programming*) para o SCSP utilizando critérios de priorização de pacientes, enquanto que Cardoen *et al.* (2009a) e (2009b) propuseram um algoritmo *Branch & Price* e um método baseado em MIP para sequenciar cirurgias com objetivo de minimizar horas extras e a utilização de leitos da URPA.

Este artigo apresenta uma nova abordagem de solução dos problemas MSSP e SCSP em BC hospitalar com o objetivo de maximizar a utilização de capacidade das SC's e da URPA. A abordagem apoia-se em duas etapas, resolvendo sequencialmente os problemas MSSP e SCSP. A primeira etapa aloca os blocos de tempo das SC's às especialidades cirúrgicas ao longo dos turnos de trabalho da semana utilizando um modelo de IP para maximizar o total de cirurgias semanais, considerando restrições associadas aos recursos físicos, SC's e leitos de recuperação da URPA, e às equipes das especialidades cirúrgicas do BC.

Neste artigo, o tempo esperado de permanência dos pacientes nos leitos na URPA é expresso como um fator do tempo esperado de cirurgia da especialidade cirúrgica, por exemplo, 30% maior, sendo, desta forma, conhecido com antecedência. A previsibilidade do tempo de permanência dos pacientes nos leitos de recuperação da URPA é utilizada como restrição no modelo do MSSP, vinculando os dois problemas, MSSP e SCSP. Essa restrição impede o modelo do MSSP de alocar no mesmo turno de trabalho combinações de especialidades cirúrgicas com longos tempos esperados de permanência na URPA, visando a impedir que uma SC seja bloqueada devido à indisponibilidade de leitos de URPA.

A segunda etapa, por sua vez, sequencia as cirurgias das especialidades cirúrgicas alocadas aos blocos de tempo das SC's, resultado da solução do MSSP na etapa anterior, com um modelo de Programação Linear (LP – *Linear Programming*) que objetiva identificar a sequência de menor *makespan* de ocupação dos leitos da URPA, considerando restrições relativas à disponibilidade de leitos da URPA e das equipes de higienização das SC's e URPA. Para tanto, insere-se o conceito de “folga proposital” na formulação proposta, a qual posterga o início de uma cirurgia com vistas a impedir o bloqueio de uma SC por indisponibilidade de leito de URPA.

Os modelos de otimização desse artigo são testados com os mesmos dados referentes às especialidades cirúrgicas e aos recursos físicos dos BC's resultantes da aplicação dos modelos

de otimização do Capítulo 4, os quais foram aplicados aos modelos de otimização do Capítulo 5. Tal prática objetiva permitir a comparação entre os resultados de ocupação de SC's e de leitos da URPA da abordagem de solução dos problemas MSSP e SCSP para maximização do número de cirurgias, apresentada neste artigo, com a abordagem de solução dos problemas MSSP e SCSP considerando o atendimento de um nível mínimo da demanda de cirurgias apresentada no Capítulo 5.

Pelo exposto acima, não foram identificados na literatura trabalhos que tenham abordado sequencialmente os problemas MSSP e SCSP, vinculando os dois problemas através da relação entre o tempo de permanência na URPA e o tempo de cirurgia, considerando os impactos dessa relação na utilização da capacidade de SC's e URPA.

6.2 MODELOS DE OTIMIZAÇÃO

Os modelos propostos se propõem a solucionar os problemas MSSP e SCSP em duas etapas sequenciais. Na primeira etapa, para solução do MSSP, um modelo de otimização em IP aloca os blocos de tempo das SC's às especialidades cirúrgicas, com objetivo de maximizar a realização de cirurgias eletivas semanais. O modelo leva em consideração os tempos esperados de realização das cirurgias e os tempos esperados de ocupação dos leitos da URPA para distribuir as especialidades cirúrgicas ao longo dos turnos de trabalho da semana.

Na segunda etapa, o SCSP é resolvido com um modelo em LP que minimiza tempos de folga utilizados para postergar o início de cirurgias com objetivo de identificar a sequência de menor *makespan* de ocupação dos leitos da URPA. Para o sequenciamento, o modelo considera os tempos de realização das cirurgias gerados aleatoriamente através de distribuições de probabilidade normal que representam as especialidades cirúrgicas. Os valores de ocupação de capacidade de SC's e URPA, resultantes da aplicação da sequência de menor *makespan* de ocupação dos leitos da URPA, são apresentados ao final do sequenciamento.

Os modelos de otimização para solucionar os problemas MSSP e SCSP, apresentados respectivamente nas seções 6.2.1 e 6.2.2, apoiam-se nas seguintes premissas:

- Todos os turnos de trabalho possuem igual duração e cada bloco de tempo das SC's alocado a uma especialidade cirúrgica corresponde a um turno de trabalho.
- Uma cirurgia, uma vez iniciada, não pode ser interrompida.

- A ocupação de um leito da URPA inicia tão logo uma cirurgia tenha sido concluída. Essa premissa desconsidera o tempo de transporte necessário para o deslocamento do paciente desde a SC até o leito de recuperação da URPA.
- Todas as SC's são recebidas higienizadas ao início dos turnos de trabalho e são higienizadas novamente após cada cirurgia. Os leitos da URPA são higienizados a cada troca de pacientes.
- Todos os leitos da URPA estão higienizados e disponíveis para uso ao início do primeiro turno de todos os dias de trabalho.
- Os recursos físicos do BC, como SC's, leitos de recuperação e equipamentos, estão disponíveis durante todo o período do turno de trabalho.
- As equipes cirúrgicas, de enfermagem e de higienização estão disponíveis durante todo o período do turno de trabalho.

6.2.1 MODELAGEM DO MSSP

A primeira etapa do método trata do *Master Surgery Scheduling Problem* (MSSP). O objetivo dessa etapa é gerar uma escala de alocação de especialidades às SC's, de repetição cíclica, visando maximizar o número de cirurgias semanais realizadas. O modelo proposto em IP considera restrições referentes aos turnos de trabalho das equipes cirúrgicas e à disponibilidade de SC's e leitos de recuperação da URPA. O modelo relaciona os problemas MSSP e SCSP através de uma restrição que considera a disponibilidade dos leitos da URPA e seu tempo esperado de ocupação para alocar as especialidades às SC's.

Assumindo que os tempos de realização dos procedimentos cirúrgicos da especialidade n ($n \in N$) são normalmente distribuídos, o tempo esperado de cirurgia t_n é o tempo referencial utilizado para calcular o número esperado de cirurgia por turno c_n , calculado pela equação (1).

$$c_n = \text{int} \left(\frac{st}{t_n + ht} \right) \quad (1)$$

A premissa de que uma cirurgia, uma vez iniciada, não possa ser interrompida, faz com que o cálculo de c_n , realizado pela equação (1), considere apenas a parte inteira da divisão do tempo do turno st pela soma de t_n com o tempo de higienização ht . No entanto, em alguns casos pode ser conveniente alocar dois blocos de tempo consecutivos das SC's a uma mesma especialidade cirúrgica, desde que seja possível realizar uma cirurgia adicional àquelas esperadas pelo valor inteiro de c_n em um turno isolado. Tal situação ocorre quando a diferença entre o valor calculado de c_n , sem a condição de integralidade c'_n , e o valor de c_n calculado

pela equação (1) é maior ou igual a 0,5 cirurgias. O cálculo de $c'_n - c_n$ é mostrado na equação (2).

$$c'_n - c_n = \left(\frac{st}{t_n+ht}\right) - int\left(\frac{st}{t_n+ht}\right) \geq 0,5 \quad (2)$$

O valor de t_n , por sua vez, resulta da definição de um percentil p da distribuição dos tempos de realização dos procedimentos cirúrgicos da especialidade n , localizado entre a mediana e o terceiro quartil, com o objetivo de obter elevado valor de ocupação de capacidade da SC até o limite de 90% de ocupação, de forma a permitir, em nível operacional, flexibilidade na ordenação e no planejamento do horário de início das cirurgias. O valor estimado de capacidade da SC, C_{SC} , com base em c_n , é calculada pela equação (3).

$$C_{SC} = \frac{c_n.(t_n+ht)}{st} \quad (3)$$

Desta forma, a escolha do percentil da distribuição dos tempos de realização dos procedimentos cirúrgicos impacta diretamente nos valores de t_n e c_n , de forma que valores elevados do percentil resultam em valores elevados de t_n e valores reduzidos de c_n , assim como valores reduzidos do percentil resultam em valores reduzidos de t_n e valores elevados de c_n , impactando, em ambos os casos, no valor de C_{SC} . Neste sentido, antes da escolha do percentil p e de t_n , os dados históricos do hospital acadêmico referentes aos tempos de execução dos procedimentos cirúrgicos e aos tempos de permanência dos pacientes nos leitos da URPA são analisados com objetivo de excluir dados inconsistentes como, por exemplo, tempo de cirurgia nulos e dados espúrios (x_{esp}) identificados através das inequações (4) e (5).

$$x_{esp} < Q1 - 1,5.(Q3 - Q1) \quad (4)$$

$$x_{esp} > Q3 + 1,5.(Q3 - Q1) \quad (5)$$

Como resultado, os dados que distam além de 1,5 vezes o intervalo interquartílico (Q3-Q1) abaixo do primeiro quartil (Q1) e acima do terceiro quartil (Q3) são considerados dados espúrios e excluídos da análise apresentada na seção 6.3 (PYZDEK, 2000).

O modelo para o MSSP é formulado em IP, como segue:

$$\max \sum_n \sum_w c_n \cdot x_{nw} + \sum_n c_b \cdot x_{nw} \quad (6)$$

$$\text{s.a. } \sum_w \sum_n x_{nw} = R \quad (7)$$

$$\sum_n x_{nw} \leq S_n, \quad w \in W \quad (8)$$

$$\sum_n \sum_{w=1}^{sd} x_{nw} \geq l_{sd} \quad (9)$$

$$\sum_w \sum_n c_n \cdot x_{nw} \cdot (t_n + ht) \cdot (1 + \beta_n) \cdot (1 - \alpha_n) \leq st \cdot B \quad (10)$$

$$x_{nw} \in Z^+ \quad (11)$$

A função objetivo do modelo (6) visa a maximizar o número de cirurgias semanais, calculada pela soma do total de cirurgias esperadas com as alocações dos blocos de tempo das SC's ($\sum_h \sum_n \sum_w c_n \cdot x_{nw}$) e do total de cirurgias adicionais realizadas em blocos de tempo consecutivos nas SC's ($\sum_n c_b \cdot x_{nw}$). A restrição de disponibilidade das SC's (7) impede a ociosidade dos blocos de tempo das SC's, igualando o número de alocações por turno ao número de SC's disponíveis R , enquanto que a restrição (8) limita o número de equipes S_n das especialidades cirúrgicas alocáveis aos blocos de tempo das SC's no mesmo turno de trabalho. A restrição (9) define o número mínimo de alocações diárias por especialidade (l_{sd}). Essa restrição objetiva assegurar que as especialidades cirúrgicas tenham pelo menos uma equipe cirúrgica atuando no BC semanalmente.

A restrição de disponibilidade de leitos da URPA (10) limita o tempo requerido para recuperação dos pacientes ao tempo total de todos os B leitos da URPA disponíveis no turno de trabalho. Essa restrição efetivamente vincula os dois problemas, MSSP e SCSP, ao considerar o tempo esperado de recuperação dos pacientes na URPA previamente à alocação dos blocos de tempo das SC's para não alocar aos blocos de tempo das SC's combinações de especialidades cirúrgicas cujos tempos esperados de recuperação excedam o tempo disponível dos leitos da URPA nos turnos de trabalho. O tempo esperado de recuperação dos pacientes na URPA resulta da multiplicação de t_n pelos fatores $(1+\beta_n)$ e $(1-\alpha_n)$, onde β_n representa o tempo adicional do paciente na URPA em relação ao seu tempo de cirurgia, característico das especialidades cirúrgicas e usualmente obtido a partir de registros históricos do BC, e α_n representa o percentual esperado de pacientes que não utilizam os leitos de recuperação da URPA. Por fim, a restrição (11) se refere às variáveis de decisão inteiras do modelo. Como resultado, o modelo para o MSSP indica os turnos diários e o total de turnos semanais alocados às especialidades, e o número esperado de cirurgias semanais.

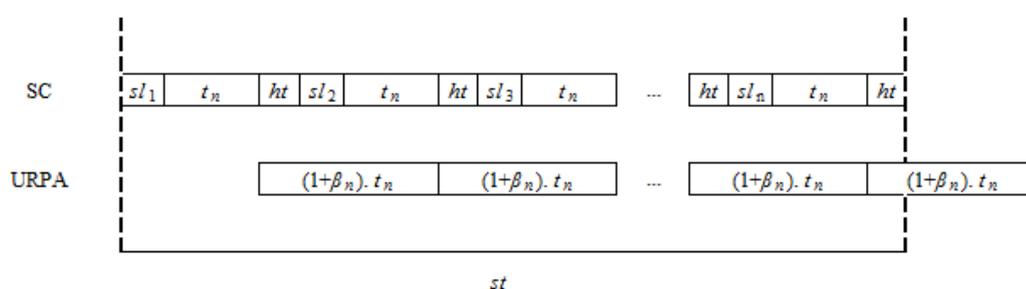
6.2.2 MODELAGEM DO SCSP

A segunda etapa do método trata do *Surgical Case Sequencing Problem* (SCSP). Esta etapa objetiva sequenciar as cirurgias das especialidades cirúrgicas alocadas aos blocos de tempo das SC's resultantes da solução do MSSP. O modelo proposto em LP leva em consideração os

tempos de higienização e a disponibilidade de leitos da URPA para sequenciar as cirurgias nas SC's e identificar a seqüência de menor *makespan* nos leitos da URPA.

Esta etapa do método considera o fluxo do paciente entre SC e URPA como mostra a Figura 6.2. O tempo total de realização de uma cirurgia é composto por um tempo de folga (sl_s) antes de seu início e o tempo esperado de sua realização t_n . Finalizada a cirurgia, a SC é higienizada pelo período de tempo ht e a SC é disponibilizada para a cirurgia subsequente. Assim, ao final de t_n , a cirurgia é concluída e o paciente é transferido para um leito desocupado da URPA, onde irá permanecer por $(1+\beta_n).t_n$.

Figura 6.2: Fluxo do paciente entre SC e URPA



Fonte: Os autores

A SC é utilizada desde o início do primeiro turno de trabalho do dia, enquanto a URPA só recebe o primeiro paciente em $sl_1 + t_n$. Essa defasagem de tempo faz com que o período de permanência do(s) último(s) paciente(s) do turno invada o tempo do turno seguinte (barra à direita que atravessa a linha vertical tracejada na Figura 6.2). Por este motivo, os tempos de folga são utilizados como variáveis de decisão do modelo, de modo que o tempo de início de uma cirurgia possa ser postergado ($sl_s > 0$) intencionalmente visando a minimizar o *makespan* de ocupação dos leitos da URPA.

Desta forma, o modelo para o SCSP cria uma seqüência diária de cirurgias, gerada sequencialmente ao longo dos sd turnos de trabalho do dia, considerando que os turnos subsequentes ao primeiro estão sujeitos a restrições de disponibilidade de leitos da URPA que ainda estejam ocupados por pacientes do turno anterior. O sequenciamento das cirurgias visa a minimizar os tempos de folga para identificar a seqüência de menor *makespan* de ocupação dos leitos da URPA. A premissa de que as SC's estão higienizadas no início dos turnos de trabalho faz com que o tempo de encerramento da primeira cirurgia das SC's seja calculado pela soma de sl_s and t_n , enquanto que o tempo de encerramento das demais cirurgias do turno considere a soma de sl_s, t_n e ht .

Os tempos esperados de realização das cirurgias t_s são gerados aleatoriamente através das distribuições de probabilidade normal das especialidades cirúrgicas, definidas por μ_n e σ_n . Em seguida, são geradas as permutações das cirurgias e calculado o tempo de encerramento esperado das cirurgias por SC. Como exemplo, duas SC's, A e B, respectivamente com 2 e 3 cirurgias, têm suas permutações combinadas como mostra o Quadro 6.1. As permutações das SC's são combinadas entre si, formando sequências organizadas em ordem crescente de tempo acumulado, como exemplo: a_2, b_1, b_3, a_1, b_2 .

Quadro 6.1: Combinações das permutações de A e B

Nr	A		B			AB				
1	a_1	a_2	b_1	b_2	b_3	a_1	a_2	b_1	b_2	b_3
2	a_2	a_1	b_1	b_3	b_2	a_1	a_2	b_1	b_3	b_2
3			b_2	b_1	b_3	a_1	a_2	b_2	b_1	b_3
4			b_2	b_3	b_1	a_1	a_2	b_2	b_3	b_1
5			b_3	b_1	b_2	a_1	a_2	b_3	b_1	b_2
6			b_3	b_2	b_1	a_1	a_2	b_3	b_2	b_1
7						a_2	a_1	b_1	b_2	b_3
8						a_2	a_1	b_1	b_3	b_2
9						a_2	a_1	b_2	b_1	b_3
10						a_2	a_1	b_2	b_3	b_1
11						a_2	a_1	b_3	b_1	b_2
12						a_2	a_1	b_3	b_2	b_1

Fonte: Os autores

Na sequência, o modelo de LP para o SCSP minimiza a soma dos tempos de folga de todas as sequências formadas com as permutações das cirurgias das SC's. A variável de decisão x_{srw} representa o tempo de folga da cirurgia s da especialidade alocada à sala r no turno w .

$$\min \sum_r \sum_s x_{srw}, \quad w \in W \quad (9)$$

$$\text{s.a. } \sum_s (x_{srw} + t_s) + c_n \cdot ht \leq st, \quad n \in N, r \in R, w \in W \quad (10)$$

$$[(x_{(s+1)rw} + t_{(s+1)}) - (x_{srw} + t_s)] \geq ht, \quad n \in N, r \in R, w \in W, s \in \{1, \dots, S-1\} \quad (11)$$

$$[(x_{srw} + t_s) - (x_{(S(w-1)-B+s)r(w-1)} + [1 + (1 + \beta_n)] \cdot t_{(S(w-1)-B+s)} + ct)] \geq 0, \quad sd > 1, r \in R, \quad (12)$$

$$w \in W, s \in \{1, \dots, B\}$$

$$[(x_{srw} + t_s) - (x_{(s-B)r w} + [1 + (1 + \beta_n)].t_{(s-B)} + ct)] \geq 0, r \in R, w \in W, s \in \{B + 1, \dots, S\} \quad (13)$$

$$x_{srw} \in \mathbb{R}^+ \quad (14)$$

A função objetivo do modelo (9) visa a minimizar o total dos tempos de folga utilizados intencionalmente para postergar o início das cirurgias de um turno. A variável de decisão x_{srw} representa o tempo de folga da cirurgia s da especialidade cirúrgica alocada à sala r no turno w . A restrição de disponibilidade de tempo das SC's (10) limita a soma dos tempos de folga, dos tempos de cirurgia e de limpeza das SC's ao tempo total do turno st , enquanto a restrição de intervalo mínimo entre encerramentos consecutivos (11) define que a diferença de tempo entre encerramentos consecutivos deve ser maior que o tempo necessário para higienizar uma SC. Essa restrição visa a viabilizar o trabalho de equipe única de limpeza e impedir a postergação de início de uma cirurgia por aguardar o serviço de higienização da SC.

A restrição de disponibilidade de leitos (12), válida para os turnos subsequentes ao primeiro turno do dia ($sd > 1$), estabelece que os tempos de encerramento das primeiras B cirurgias dos turnos subsequentes ao primeiro sejam maiores que os tempos esperados de desocupação e higienização dos leitos da URPA dos últimos B pacientes do turno anterior. Essa restrição define que os primeiros B pacientes entrantes na URPA irão ocupar os leitos dos últimos B pacientes do turno anterior, na sequência de sua desocupação. A restrição (13) estabelece similar condição à restrição (12), porém com aplicação válida a partir do paciente $B+1$ do turno em questão. Por fim, a restrição (14) estabelece a não negatividade das variáveis de decisão do modelo, os tempos de folga antes do início das cirurgias.

Após a otimização dos tempos de folga, calcula-se o *makespan* de todas as soluções viáveis resultantes da otimização e a sequência do turno de trabalho de menor *makespan* de ocupação dos leitos da URPA é escolhida a solução do problema. Como resultado, o modelo do SCSP apresenta, por dia de trabalho, um gráfico de Gantt com a sequência de realização das cirurgias por SC e a sequência esperada de ocupação dos leitos da URPA. Os valores de ocupação de SC's (C_{SC}) e URPA (C_{URPA}) da sequência de menor *makespan* dos leitos da URPA por turno de trabalho são calculados, respectivamente, pelas equações (15) e (16).

$$C_{SC} = \frac{\sum_r \sum_s (x_{srw} + t_s + ht)}{R.st}, w \in W \quad (15)$$

$$C_{URPA} = \frac{\sum_r \sum_s [(1 + \beta_n).t_s + ct]}{B.st}, n \in N, w \in W \quad (16)$$

A C_{SC} calcula a razão entre a soma dos tempos utilizados nas SC's em folgas (x_{srw}), realização de cirurgias (t_s) e higienização (ht), e o tempo disponível das SC's. De forma análoga, C_{URPA} calcula a razão entre a soma dos tempos de permanência dos pacientes nos leitos e o tempo total disponível dos leitos de recuperação da URPA.

O tempo adicional de permanência do paciente na URPA em relação ao tempo de cirurgia, fator $(1+\beta_n)$, e a relação numérica entre leitos de recuperação e SC's, relação B/R, impactam diretamente nos valores de C_{SC} e C_{URPA} de um BC. Em BC's com baixa relação B/R, valores elevados de $(1+\beta_n)$ aumentam o tempo de ocupação dos leitos e, por consequência, o valor de C_{URPA} , porém podem gerar atrasos no início de cirurgias ou impedir a sua realização, reduzindo o valor de C_{SC} . De outra forma, valores reduzidos de $(1+\beta_n)$ geram períodos de ociosidade dos leitos da URPA, reduzindo o valor de C_{URPA} , indicando que a relação B/R do BC possa estar superdimensionada. Como efeito, tal situação pode requerer o acréscimo de uma restrição ao modelo do MSSP limitando o valor de $(1+\beta_n)$ das combinações de especialidades cirúrgicas alocadas simultaneamente aos turnos das SC's conforme a capacidade disponível de SC's e leitos de recuperação da URPA.

6.3 RESULTADOS

Esta seção apresenta os resultados da aplicação dos modelos de otimização a um conjunto de dados históricos de tempos dos procedimentos cirúrgicos e de permanência dos pacientes nos leitos da URPA de um hospital universitário, coletados entre 2009 e 2013. As especialidades cirúrgicas consideradas no estudo são: cirurgia do aparelho digestivo (CAD), cirurgia buco maxilo facial (BUC), cirurgia cardiovascular (CCV), colo-proctologia (PRO), cirurgia geral (CIG), ginecologia (SGO), mastologia (MST), neurocirurgia (NCI), ortopedia (ORT), otorrinolaringologia (OTO), cirurgia pediátrica (CII), cirurgia plástica (CIP), cirurgia torácica (CIT), urologia (URL) e cirurgia vascular (CIV).

Os modelos de otimização para solucionar o MSSP e o SCSP foram desenvolvidos em MATLAB[®] R2014a e testados em processador intel[®] Core i5 450M com 4GB de memória RAM, considerando que as especialidades cirúrgicas do BC realizam cirurgias eletivas cinco dias por semana ($wd=5$) em três turnos diários ($sd=3$) de seis horas ($st=360$), enquanto que a URPA opera ininterruptamente.

A Tabela 6.1 apresenta a estatística descritiva dos tempos de execução dos procedimentos cirúrgicos e dos tempos de permanência nos leitos da URPA aplicados aos modelos, após a exclusão dos dados espúrios.

Tabela 6.1: Estatística descritiva dos tempos nas SC's e URPA

Esp. Cir.	Tempos SC				Tempos URPA				α	β
	Q1	Q2	Q3	\bar{x}	Q1	Q2	Q3	\bar{x}		
CAD	1h50	2h27	3h27	2h43	3h11	4h04	5h10	4h24	0,10	0,62
BUC	2h05	2h37	3h46	3h03	3h10	4h10	4h54	4h15	0	0,39
CCV	0h55	1h12	1h30	1h14	2h21	3h05	4h11	3h24	0,25	1,76
PRO	1h15	2h25	4h24	2h52	3h26	4h35	6h10	4h57	0,05	0,73
CIG	1h47	2h20	2h56	2h25	3h05	4h00	5h03	4h11	0	0,73
SGO	1h26	2h05	2h50	2h10	3h21	4h17	5h14	4h25	0	1,04
MST	1h50	2h15	2h45	2h18	3h05	3h51	4h42	4h00	0	0,74
NCI	2h45	4h05	5h05	4h00	3h16	4h20	5h16	4h26	0,45	0,11
ORT	2h20	3h05	3h50	3h05	3h27	4h29	5h52	4h50	0	0,57
OTO	1h54	2h30	3h20	2h38	2h44	3h32	4h29	3h42	0	0,41
CII	0h48	1h05	1h25	1h09	2h13	2h55	3h57	3h09	0	1,74
CIP	2h20	3h15	4h30	3h25	3h03	3h48	4h48	3h59	0	0,17
CIT	1h25	1h50	2h25	2h08	2h49	3h47	4h59	4h08	0,12	0,94
URL	1h35	2h21	3h22	2h34	3h35	4h40	6h00	4h58	0,05	0,94
CIV	1h38	2h25	3h15	2h33	3h40	4h53	7h24	6h37	0,25	1,59

Fonte: Os autores

Na Tabela 6.1 são apresentados os três quartis e as médias das distribuições dos tempos dos procedimentos cirúrgicos nas SC's e dos tempos de permanência dos pacientes na URPA das especialidades cirúrgicas. As duas últimas colunas da tabela apresentam, respectivamente, o valor de α , extraído dos dados históricos do hospital universitário, e o valor de β , calculado pela divisão da média do tempo de permanência da URPA pela média do tempo de cirurgia das especialidades cirúrgicas.

Com base nos dados da Tabela 6.1 identifica-se, para cada especialidade cirúrgica, o percentil p que corresponde ao valor de t_n , apresentado na Tabela 6.2, utilizado para calcular os valores de c_n e C_{sc} , respectivamente, pelas equações (1) e (3), considerando $st = 360$ e $ht = 5$.

Tabela 6.2: Valores de p , t_n e c_n utilizados pelo modelo de otimização

Esp.	p	t_n	c_n	C_{sc}	Esp.	p	t_n	c_n	C_{sc}	Esp.	p	t_n	c_n	C_{sc}
CAD	54	2h37	2	90,0%	SGO	68	2h37	2	90,0%	CII	66	1h16	4	90,0%
BUC	75	3h46	1	64,2%	MST	70	2h37	2	90,0%	CIP	63	3h55	1	66,7%
CCV	75	1h30	3	79,2%	NCI	75	5h05	1	86,1%	CIT	73	2h21	2	81,1%
PRO	52	2h37	2	90,0%	ORT	75	3h50	1	65,3%	URL	50	2h21	2	81,1%
CIG	62	2h37	2	90,0%	OTO	54	2h37	2	90,0%	CIV	58	2h37	2	90,0%

Fonte: Os autores

Na sequência, as seções 6.3.1 e 6.3.2 apresentam os resultados da aplicação dos modelos propostos aos BC's obtidos com os percentuais de atendimento mínimo da demanda de cirurgias $\gamma_n \in \{0,60, 0,80\}$ do Capítulo 4. Os recursos físicos dos BC's com $\gamma_n \in \{0,60, 0,80\}$, são, respectivamente, 12 SC's e 18 leitos de recuperação da URPA, e 16 SC's e 24 leitos de recuperação da URPA.

6.3.1 MSSP

O modelo para solucionar o MSSP utiliza os resultados do dimensionamento do número de SC's e leitos de recuperação da URPA, provenientes da aplicação do modelo de planejamento estratégico de recursos do Capítulo 4, resultando em 12 SC's e 18 leitos com $\gamma_n = 0,60$ e 16 SC's e 24 leitos com $\gamma_n = 0,80$. Assim, os blocos de tempo semanais disponíveis para alocação às especialidades cirúrgicas com $\gamma_n \in \{0,60, 0,80\}$ são, respectivamente, 180 e 240 blocos.

A Tabela 6.3 apresenta a escala de alocação dos blocos de tempo das SC's às especialidades cirúrgicas com $\gamma_n = 0,60$. De forma análoga ao Capítulo 5, a solução do MSSP apresenta diversas ocorrências de alocações de blocos de tempo consecutivos das SC's às mesmas especialidades cirúrgicas do BC, entre elas oito ocorrências de alocações de blocos de tempo consecutivos para as especialidades neurocirurgia (NCI) e cirurgia plástica (CIP), sete ocorrências para a especialidade ortopedia (ORT) e cinco ocorrências da especialidade cirurgia buco maxilo facial (BUC), dentre as quais apenas as especialidades cirurgia buco maxilo facial (BUC), ortopedia (ORT) e cirurgia plástica (CIP) apresentam valores de $c_n' - c_n$, calculados pela equação (2), que podem resultar na realização de uma cirurgia adicional quando são alocados blocos de tempos consecutivos das SC's a essas especialidades cirúrgicas.

Tabela 6.3: Escala de alocação semanal dos blocos de tempo das SC's com $\gamma_n = 0,60$

Dia	SC	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SEG	M	BUC	BUC	CIG	CIG	MST	NCI	NCI	ORT	ORT	CIP	CIP	CIV
	T	CCV	PRO	CIG	CIG	PRO	NCI	NCI	ORT	ORT	CIP	CIP	URL
	N	CAD	PRO	CAD	BUC	PRO	BUC	SGO	OTO	OTO	CII	CIT	CIT
TER	M	BUC	CAD	CCV	CAD	CIG	OTO	ORT	ORT	CIG	OTO	CIV	CIV
	T	BUC	BUC	MST	MST	NCI	NCI	ORT	ORT	CIP	CIP	CIT	CIT
	N	PRO	BUC	SGO	PRO	NCI	NCI	MST	MST	CIP	CIP	CII	URL
QUA	M	CAD	CAD	BUC	CIG	ORT	ORT	OTO	OTO	CIT	CIT	URL	CIV
	T	CAD	CAD	BUC	CIG	CCV	ORT	CIG	MST	NCI	NCI	CIP	CIP
	N	BUC	BUC	PRO	SGO	CIT	CIT	CII	ORT	NCI	NCI	CIP	CIP
QUI	M	CAD	CAD	BUC	CIG	CIP	CIP	ORT	OTO	ORT	CII	NCI	NCI
	T	CAD	BUC	CCV	SGO	MST	MST	ORT	URL	ORT	URL	CIT	CIT
	N	BUC	BUC	NCI	NCI	MST	PRO	PRO	CIP	CIP	CIV	CIT	CIT
SEX	M	CAD	CAD	BUC	BUC	PRO	ORT	CIP	ORT	CIT	OTO	OTO	URL
	T	CCV	NCI	BUC	MST	NCI	MST	CIP	CIG	CII	CIP	CIV	CIV
	N	BUC	NCI	CAD	CAD	NCI	SGO	ORT	SGO	ORT	CIP	CIV	CIV

Fonte: Os autores

As alocações de blocos de tempo das SC's da Tabela 6.3 apresentam repetidas alocações de grupos, ou combinações, de especialidades cirúrgicas, enfatizando a influência da restrição de disponibilidade de leitos da URPA na disposição das especialidades cirúrgicas ao longo dos turnos de trabalho da semana. Dois grupos de seis especialidades cirúrgicas agrupadas repetem-se em 2 dos 15 turnos da semana, são eles: (i) cirurgia do aparelho digestivo (CAD), cirurgia buco maxilo facial (BUC), cirurgia geral (CIG), ortopedia (ORT), otorrinolaringologia (OTO) e cirurgia vascular (CIV) e (ii) cirurgia do aparelho digestivo (CAD), cirurgia buco maxilo facial (BUC), cirurgia geral (CIG), neurocirurgia (NCI), ortopedia (ORT) e cirurgia plástica (CIP). Os grupos com cinco especialidades agrupadas repetem-se em 2 dos 15 turnos da semana, são eles: (iii) cirurgia buco maxilo facial (BUC), mastologia (MST), neurocirurgia (NCI), ortopedia (ORT) e cirurgia plástica (CIP), (iv) cirurgia buco maxilo facial (BUC), mastologia (MST), neurocirurgia (NCI), cirurgia plástica (CIP) e cirurgia vascular (CIV), (v) cirurgia do aparelho digestivo (CAD), cirurgia buco maxilo facial (BUC), ortopedia (ORT), cirurgia torácica (CIT) e urologia (URL), (vi) cirurgia buco maxilo facial (BUC), neurocirurgia (NCI), ortopedia (ORT), cirurgia pediátrica (CII) e

cirurgia plástica (CIP) e, por fim, (vii) cirurgia do aparelho digestivo (CAD), cirurgia buco maxilo facial (BUC), neurocirurgia (NCI), ortopedia (ORT) e cirurgia plástica (CIP).

Tabela 6.4: Escala de alocação semanal dos blocos de tempo das SC's com $\gamma_n = 0,80$

SC	Turno	SEG	TER	QUA	QUI	SEX	SC	Turno	SEG	TER	QUA	QUI	SEX
1	M	BUC	CAD	CIG	CAD	CAD	9	M	ORT	ORT	OTO	ORT	ORT
	T	CCV	BUC	CIG	BUC	BUC		T	ORT	ORT	CAD	ORT	OTO
	N	SGO	BUC	BUC	BUC	BUC		N	OTO	SGO	CIT	MST	SGO
2	M	BUC	BUC	CIG	CAD	CAD	10	M	ORT	ORT	CIT	ORT	ORT
	T	PRO	BUC	CIG	CCV	CCV		T	CIG	MST	CIG	ORT	OTO
	N	CAD	CCV	PRO	BUC	PRO		N	CII	NCI	SGO	NCI	SGO
3	M	BUC	CAD	CIG	CAD	BUC	11	M	CIP	OTO	CIT	OTO	ORT
	T	PRO	BUC	BUC	PRO	CIG		T	CIP	NCI	MST	CIT	CII
	N	OTO	PRO	BUC	PRO	PRO		N	CIT	NCI	SGO	CIP	NCI
4	M	CIG	CIG	ORT	CIG	BUC	12	M	CIP	OTO	URL	CII	OTO
	T	CIG	CIG	BUC	SGO	MST		T	CIP	CIP	CCV	CIT	CIP
	N	CAD	PRO	BUC	PRO	SGO		N	CIT	CIP	NCI	CIP	CIP
5	M	MST	CIG	ORT	BUC	BUC	13	M	CIP	OTO	URL	CIP	OTO
	T	PRO	MST	ORT	SGO	MST		T	CIG	CIP	NCI	CIT	CIP
	N	CAD	MST	SGO	PRO	SGO		N	CIV	CIP	NCI	NCI	CIP
6	M	NCI	CIG	ORT	NCI	CAD	14	M	CIV	CIV	URL	CIP	OTO
	T	NCI	MST	ORT	SGO	MST		T	NCI	CIT	NCI	URL	CIP
	N	BUC	MST	CIT	BUC	SGO		N	CIT	CII	NCI	NCI	CIV
7	M	NCI	CAD	OTO	NCI	PRO	15	M	CIV	CIV	CIV	URL	CIT
	T	NCI	NCI	CAD	MST	NCI		T	URL	CIT	CIP	URL	CIV
	N	BUC	NCI	CII	MST	NCI		N	URL	CIP	CIP	CIP	CIV
8	M	ORT	ORT	OTO	ORT	PRO	16	M	CIV	CIV	CIV	URL	URL
	T	ORT	ORT	CAD	MST	NCI		T	URL	CIT	CIP	URL	CIV
	N	OTO	PRO	CIT	MST	NCI		N	URL	URL	CIP	CIV	CIV

Fonte: Os autores

De forma análoga à escala de alocação dos blocos de tempo das SC's apresentada na Tabela 6.3, a alocação dos blocos de tempo das SC's da Tabela 6.4 apresenta diversas ocorrências de alocações de blocos de tempo consecutivos das SC's às mesmas especialidades cirúrgicas do BC, entre elas oito ocorrências de alocações de blocos de tempo consecutivos para as especialidades neurocirurgia (NCI), ortopedia (ORT) e cirurgia plástica (CIP), seis

ocorrências para a especialidade cirurgia buco maxilo facial (BUC), quatro ocorrências para as especialidades cirurgia geral (CIG), mastologia (MST) e urologia (URL), duas ocorrências para a especialidade cirurgia vascular (CIV) e uma ocorrência para a especialidade cirúrgica colo-proctologia (PRO). Entre as especialidades com alocações de blocos de tempo consecutivos das SC's, apenas as especialidades cirurgia buco maxilo facial (BUC), ortopedia (ORT) e cirurgia plástica (CIP) podem se beneficiar com a realização de uma cirurgia adicional.

Um grupo de seis e outros dois grupos de cinco especialidades cirúrgicas são alocados repetidamente na Tabela 6.4. O grupo das seis especialidades cirurgia buco maxilo facial (BUC), cirurgia geral (CIG), mastologia (MST), neurocirurgia (NCI), ortopedia (ORT), e cirurgia plástica (CIP) repete-se em 3 dos 15 turnos da semana, assim como o grupo de cinco especialidades cirurgia buco maxilo facial (BUC), mastologia (MST), neurocirurgia (NCI), cirurgia plástica (CIP) e cirurgia vascular (CIV). Por fim, o grupo de cinco especialidades cirurgia geral (CIG), neurocirurgia (NCI), ortopedia (ORT), cirurgia plástica (CIP) e urologia (URL) repete-se em 2 dos 15 turnos da semana.

A Tabela 6.5 apresenta a distribuição dos blocos de tempo das SC's entre as especialidades cirúrgicas, resultante da aplicação do modelo para o MSSP. Na tabela, observa-se que um número maior de blocos de tempo das SC's foram alocados às especialidades cirúrgicas que requerem menor tempo nos leitos de recuperação da URPA, expresso pelo fator $(1 + \beta_n) \cdot (1 - \alpha_n)$ da restrição (10), enquanto especialidades cirúrgicas com maior demanda de tempo nos leitos de recuperação da URPA, como cirurgia cardiovascular (CCV) e cirurgia pediátrica (CII), receberam apenas o número mínimo diário de blocos de tempo das SC's especificado na restrição (9).

Tabela 6.5: Blocos de tempo das SC's alocados às especialidades cirúrgicas

γ_n	CAD	BUC	CCV	PRO	CIG	SGO	MST	NCI	ORT	OTO	CII	CIP	CIT	URL	CIV	Blocos
0,60	15	20	5	10	11	6	11	20	20	9	5	20	13	6	9	180
0,80	15	25	5	15	15	11	15	25	25	15	5	25	15	14	15	240

Fonte: Os autores

O número esperado de cirurgias por especialidade cirúrgica, resultante da aplicação das escalas semanais de alocação dos blocos de tempo das SC's das Tabelas 6.4 e 6.5, é mostrado na Tabela 6.6.

Tabela 6.6: Número de cirurgias esperadas por especialidade cirúrgica

γ_n	CAD	BUC	CCV	PRO	CIG	SGO	MST	NCI	ORT	OTO	CII	CIP	CIT	URL	CIV
0,60	30	25	15	20	22	12	22	20	27	18	20	25	28	12	18
0,80	30	31	15	30	30	22	30	25	32	30	20	33	30	28	30

Fonte: Os autores

A Tabela 6.7 compara os recursos físicos dos BC's das escalas de alocação dos blocos de tempo das SC's e apresenta o número de cirurgias realizáveis pelos BC's, resultantes das abordagens de solução do MSSP de maximização do número de cirurgias, proposta neste artigo, e de atendimento da demanda de cirurgias do Capítulo 5.

Os dados da Tabela 6.7 comprovam que as escalas de alocação de blocos de tempo das SC's da abordagem de maximização do número de cirurgias realizáveis, proposta neste artigo, conduzem o BC à realização de maior número de cirurgias do que sob a abordagem de atendimento de um nível mínimo da demanda de cirurgias das especialidades cirúrgicas. Com $\gamma_n = 0,60$, a abordagem de maximização de cirurgias espera realizar 7,9% mais cirurgias do que a abordagem de atendimento de um nível mínimo da demanda de cirurgias (314 vs. 291), enquanto que com $\gamma_n = 0,80$ a diferença em número de cirurgias entre as duas abordagens cai para 2,2%, porém ainda com vantagem para a abordagem de maximização do número de cirurgias realizáveis.

Tabela 6.7: Comparativo das abordagens de solução do MSSP

Recursos físicos dos BC's / Resultados	$\gamma_n = 0,60$	$\gamma_n = 0,80$
Número de SC's	12	16
Número de leitos de recuperação da URPA	18	24
Número de cirurgias - Abordagem de atendimento da demanda de cirurgias (Cap. 5)	291	407
Número de cirurgias - Abordagem de maximização de cirurgias (Este artigo)	314	416

Fonte: Os autores

6.3.2 SCSP

A segunda etapa do método, o modelo do SCSP gera cinco sequências ($wd=5$) de três turnos cada ($sd=3$), para as escalas de alocação de blocos de tempo das SC's resultantes do modelo do MSSP. A natureza combinatorial do método proposto para solução do SCSP resulta em um problema cujo sequenciamento das permutações das cirurgias de todas as SC's juntas requer elevado número de horas para sua solução. Neste sentido, a solução do SCSP aqui

apresentada fraciona o problema total em subgrupos com quatro salas de cirurgia ($R=4$) e seis leitos de recuperação da URPA ($B=6$), dentre os quais são apresentados os resultados das sequências de um dia da semana das SC's 4, 5, 8 e 12, da escala de alocação de tempo das SC's com $\gamma_n = 0,60$ da Tabela 6.3, e das SC's 3, 6, 9 e 16 da escala de alocação de tempo das SC's com $\gamma_n = 0,80$ da Tabela 6.4. Resultados similares aos aqui apresentados são obtidos para os demais dias da semana de ambas as escalas.

As Tabelas 6.8 e 6.9 mostram os valores da ocupação de capacidade de SC's e URPA, resultantes da solução do SCSP para $\gamma_n \in \{0,60; 0,80\}$. Na Tabela 6.8, os valores médios de ocupação de capacidade das SC's ficam na faixa entre 69,6 e 79,9%, com ocupação média de capacidade de 75,5%. Baixos valores individuais de ocupação de capacidade ocorrem nos turnos 12 e 15 da SC 4, com cirurgias de curta duração das especialidades neurocirurgia (NCI) e cirurgia do aparelho digestivo (CAD). No caso da URPA, a ocupação média de capacidade URPA de 85,6% apresenta elevados valores individuais de ocupação de capacidade nos turnos 2, 3, 7, 11 e 14. Nos turnos 11 e 14 os valores de ocupação de capacidade superam 100%, resultado da utilização integral do tempo de trabalho dos seus turnos e da utilização parcial do tempo de trabalho dos leitos de recuperação dos turnos subsequentes. Tais valores de ocupação de capacidade ocorrem devido a longos tempos de permanência dos pacientes nos leitos de recuperação URPA, resultado das combinações das especialidades alocadas às SC's nesses turnos, ginecologia (SGO), mastologia (MST), urologia (URL) e cirurgia torácica (CIT) no turno 11, e mastologia (MST), neurocirurgia (NCI), cirurgia geral (CIG) e cirurgia vascular (CIV) no turno 14.

Tabela 6.8: Capacidade percentual utilizada nas SC's e leitos da URPA para $\gamma_n = 0,60$

Turno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Média
SC 4	53,3	67,2	91,4	53,6	61,7	95,6	90,0	92,5	65,8	91,7	95,0	43,6	85,8	94,3	31,9	74,2
SC 5	77,8	97,5	95,6	91,7	72,5	72,5	51,9	64,4	73,3	57,8	82,5	77,2	98,6	88,4	72,5	78,3
SC 8	51,9	51,9	92,8	51,9	51,9	75,3	92,8	82,5	51,9	93,1	89,4	57,8	51,9	74,9	74,4	69,6
SC 12	87,8	89,4	73,3	87,8	73,3	89,4	87,8	57,8	57,8	72,5	73,3	73,3	89,4	97,0	87,8	79,9
C_{SC}	67,7	76,5	88,3	71,2	64,9	83,2	80,6	74,3	62,2	78,7	85,1	63,0	81,5	88,7	66,7	75,5
C_{URPA}	84,8	99,4	96,5	89,0	64,3	90,6	96,2	87,9	63,1	70,7	100,7	64,5	92,9	101,2	82,6	85,6

Fonte: Os autores

A Tabela 6.9 mostra que a solução do SCSP com $\gamma_n = 0,80$, a qual apresenta ocupação individual média de capacidade das SC's entre 67,1 e 85,0%, com ocupação média de 75,1%. Baixos valores individuais de ocupação de capacidade ocorrem nos turnos 8 e 9 da SC 3 e nos turnos 3 e 8 da SC 6, todos com cirurgias de curta duração da especialidade cirurgia buco maxilo facial (BUC), e nos turnos 5, 10 e 11 da SC 9, com cirurgias de curta duração das especialidades cirurgia torácica (CIT) e urologia (URL).

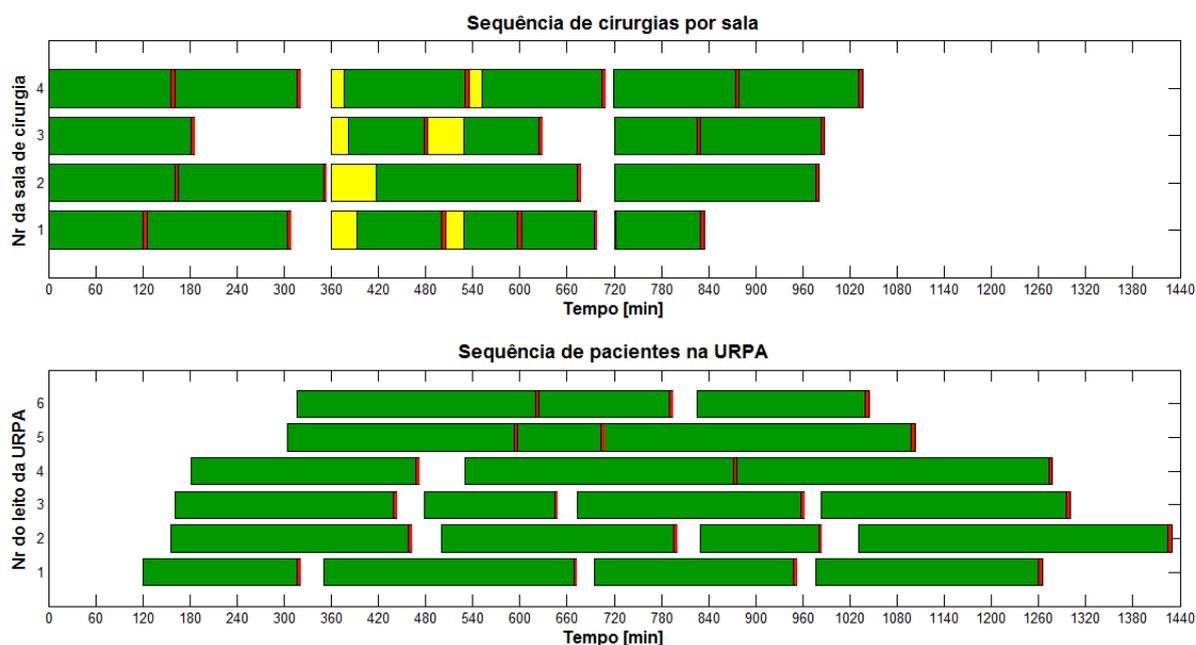
Com relação à URPA, a ocupação média de capacidade da Tabela 6.9 é de 85,2%, apresentando elevados valores individuais de ocupação de capacidade nos turnos 4, 7 e 12, todos acima de 100%. Em todos esses turnos a especialidade cirurgia vascular (CIV), de elevado tempo de permanência do paciente nos leitos de recuperação da URPA, foi alocada às SC's simultaneamente com as especialidades cirurgia do aparelho digestivo (CAD) e ortopedia (ORT) no turno 4, cirurgia geral (CIG) e otorrinolaringologia (OTO) no turno 7, e coloproctologia (PRO) e mastologia (MST) no turno 12.

Tabela 6.9: Capacidade percentual utilizada nas SC's e leitos da URPA para $\gamma_n = 0,80$

Turno	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Média
SC 3	51,4	98,3	90,6	94,4	58,6	97,8	83,3	44,4	36,7	94,2	98,3	95,3	56,9	83,9	50,0	75,6
SC 6	69,4	69,4	37,5	95,8	69,4	69,4	91,7	45,8	81,9	69,4	80,0	75,8	98,3	69,4	69,4	72,9
SC 9	53,3	50,0	91,9	53,3	49,2	77,2	94,5	56,9	75,3	49,2	49,2	78,7	50,0	91,7	85,6	67,1
SC 16	87,8	91,7	93,3	87,8	74,7	91,7	87,8	59,7	57,5	91,7	91,7	92,0	91,7	87,8	87,8	85,0
C_{SC}	65,5	77,4	78,3	82,8	63,0	84,0	89,3	51,7	62,8	76,1	79,8	85,5	74,2	83,2	73,2	75,1
C_{URPA}	75,6	82,8	80,0	101,4	62,8	95,6	103,0	46,7	79,1	79,9	92,8	107,6	83,0	94,9	92,7	85,2

Fonte: Os autores

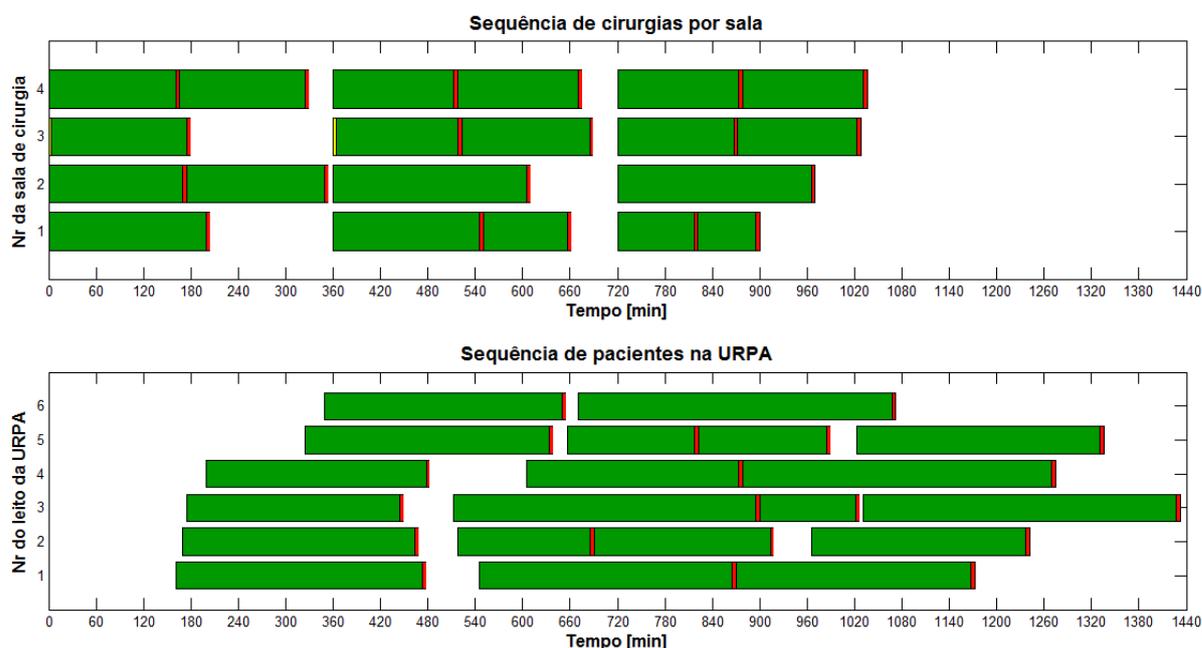
As Figuras 6.3 e 6.4 mostram as sequências de cirurgias do quinto dia de trabalho da semana, que resultam no menor *makespan* dos leitos de recuperação da URPA, respectivamente, para $\gamma_n \in \{0,60; 0,80\}$. Em ambas as figuras a sequência de cirurgias nas SC's é mostrada na parte superior, enquanto que a sequência de ocupação dos leitos da URPA é mostrada na parte inferior. As barras amarelas se referem aos tempos de folga utilizados intencionalmente para postergar o início das cirurgias, as barras verdes se referem aos tempos de cirurgia nas SC's e de recuperação nos leitos da URPA, e as barras vermelhas representam os tempos de higienização, tanto nas SC's como nos leitos da URPA.

Figura 6.3: Sequência de cirurgias do quinto dia da semana com $\gamma_n = 0,60$ 

Fonte: Os autores

Na Figura 6.3, no segundo turno do dia, o turno 14, as primeiras cirurgias de todas as SC's são postergadas em seu início devido à ocupação tardia dos leitos da URPA pelos três últimos pacientes do turno anterior, os quais ingressaram na URPA na última hora de trabalho, como pode ser visto no primeiro paciente dos leitos 5 e 6, e no segundo paciente do leito 1. As demais cirurgias das SC's também são postergadas em seu início em função de longos tempos de permanência dos pacientes nos leitos da URPA. Longos tempos de permanência nos leitos da URPA também são vistos no último paciente dos leitos 4 e 5, os quais ocupam seus respectivos leitos em tempo superior a um turno de trabalho.

Na Figura 6.4, a elevada ocupação dos leitos de recuperação da URPA nos dois últimos turnos do dia decorre dos longos tempos de permanência dos pacientes nos leitos de recuperação da URPA, como ocorre com o último paciente dos leitos 3, 4 e 6, todos com tempo de permanência superior a um turno de trabalho. No entanto, apesar do elevado tempo de permanência desses pacientes nos leitos de recuperação da URPA, a sequência apresentada pelo modelo para o SCSP não requer a utilização de tempos de folga para postergar o início de cirurgias das SC's e evitar o bloqueio das mesmas por indisponibilidade de leitos de recuperação da URPA.

Figura 6.4: Sequência de cirurgias do quinto dia da semana com $\gamma_n = 0,80$ 

Fonte: Os autores

A Tabela 6.10 apresenta um comparativo de resultados de ocupação de capacidade de SC's e leitos de recuperação da URPA entre as abordagens de solução do MSSP: a abordagem de maximização do número de cirurgias realizáveis pelo BC, proposta neste artigo, e a abordagem de atendimento de um nível mínimo da demanda de cirurgias eletivas das especialidades cirúrgicas do BC.

Tabela 6.10: Comparativo de ocupação de capacidade entre as abordagens de solução do MSSP

Abordagens de solução / Ocupação de Capacidade (%)	$\gamma_n = 0,60$ $\gamma_n = 0,80$	
	Abordagem de atendimento da demanda de cirurgias (Cap. 5)	SC's
	URPA	74,8 82,0
Abordagem de maximização de cirurgias (Este artigo)	SC's	75,5 75,1
	URPA	85,6 85,2

Fonte: Os autores

Os dados da Tabela 6.10 mostram que os valores de ocupação de capacidade sob abordagem de maximização de cirurgias são maiores do que sob abordagem de atendimento de nível mínimo da demanda de cirurgias das especialidades cirúrgicas. As diferenças entre os valores de ocupação de capacidade das SC's oscilam entre 2,4 e 5,2 pontos percentuais entre as abordagens, enquanto as diferenças entre os valores de ocupação de capacidade dos leitos da

URPA das abordagens variam entre 3,2 e 10,8 pontos percentuais. Os valores superiores da ocupação de capacidade dos leitos da URPA em relação à ocupação de capacidade das SC's enfatiza o caráter restritivo da URPA no desempenho dos BC's testados com $\gamma_n \in \{0,60; 0,80\}$.

Os resultados com relação ao número de cirurgias realizáveis, mostrados na Tabela 6.7, e à ocupação de capacidade dos recursos físicos do BC, mostrados na Tabela 6.10, podem ser utilizados como referenciais de potenciais desempenhos do BC sob uma ou outra abordagem de programação de cirurgias eletivas e para avaliação do impacto do uso dessas abordagens no atingimento das metas de desempenho do BC.

6.4 CONCLUSÃO

A gestão de um BC hospitalar é extremamente importante e complexa, na medida em que o BC gera as maiores despesas e receitas de um hospital, e onde a aplicação de técnicas de sequenciamento pode resultar em benefícios como o aumento da utilização da capacidade dos seus recursos físicos. Este artigo apresenta um método em duas etapas sequenciais para resolver os problemas MSSP e SCSP, com o objetivo de maximizar a realização de cirurgias eletivas semanais e a utilização de capacidade de SC's e leitos de recuperação da URPA.

Na primeira etapa um modelo de IP resolve o problema MSSP, gerando as escalas de alocação dos blocos de tempo das SC's às especialidades cirúrgicas, ao longo dos turnos de trabalho da semana, considerando restrições associadas aos recursos físicos, SC's e leitos de recuperação da URPA, e às equipes das especialidades cirúrgicas do BC. O modelo relaciona os problemas MSSP e SCSP através de uma restrição que considera o tempo esperado de permanência dos pacientes nos leitos de recuperação da URPA, para impedir que o modelo do MSSP aloque simultaneamente aos blocos de tempo das SC's combinações de especialidades cirúrgicas cujos longos tempos esperados de permanência dos pacientes na URPA possam bloquear uma SC devido à indisponibilidade de leitos de URPA.

Na segunda etapa um modelo de LP resolve o problema SCSP, sequenciando as cirurgias das especialidades cirúrgicas alocadas aos blocos de tempo das SC's pela solução do MSSP. O sequenciamento utiliza tempos de folga antes do início das cirurgias para postergar intencionalmente seu início, com objetivo de identificar a sequência de menor *makespan* de ocupação dos leitos da URPA, considerando restrições relativas à disponibilidade de leitos da URPA e das equipes de higienização de SC's e URPA.

Os modelos são testados com dados históricos do BC de um hospital universitário em diferentes quantidades de recursos físicos, na forma de SC's e leitos de recuperação da URPA, e seus resultados são comparados com a abordagem de solução dos problemas MSSP e SCSP apresentada no Capítulo 5. Os resultados obtidos com a abordagem de maximização da realização de cirurgias eletivas semanais superam os resultados obtidos com a abordagem de atendimento mínimo da demanda de cirurgias eletivas, apresentada no Capítulo 5. Os modelos propostos neste artigo resultam entre 2,2 e 7,9% mais cirurgias do que sob a abordagem de atendimento mínimo da demanda de cirurgias eletivas, ocupam entre 3,3 e 7,4% mais capacidade das SC's e entre 3,9 e 14,4% mais capacidade dos leitos de recuperação da URPA.

A comparação entre diferentes abordagens estratégicas auxiliam o planejador de cirurgias a identificar a estratégia mais adequada para maximizar a utilização dos recursos físicos do BC. Nesse sentido, tanto a abordagem de maximização da realização de cirurgias como a abordagem de atendimento mínimo da demanda de cirurgias podem ser alternadas em distintos momentos em conformidade com os objetivos de desempenho do BC. O aprimoramento dos modelos atuais deve incorporar aspectos restritivos referentes à disponibilidade de equipes cirúrgicas ao longo dos turnos da semana, disponibilidade de equipamentos e de instrumentais cirúrgicos, além de incluir as relações de compatibilidade entre recursos fixos oferecidos pelas SC's e os recursos requeridos pelas especialidades cirúrgicas.

6.5 REFERÊNCIAS

AGNETIS, A.; COPPI, A.; CORSINI, M.; DELLINO, G.; MELONI, C.; PRANZO, M. *Long term evaluation of operating theatre planning policies.* Operations Research for Health Care 1 (2012) 95-104

BANDITORI, C.; CAPPANERA, P.; VISINTIN, F. *A combined optimization-simulation approach to the master surgical scheduling problem.* Journal of Management Mathematics 24 (2013) 155-187

BERTSIMAS, D.; GUPTA, S.; LULLI, G. *Dynamic resource allocation: A flexible and tractable modeling framework.* European Journal of Operational Research 236 (2014) 14-26

CARDOEN, B.; DEMEULEMEESTER, E.; BELIËN, J. *Sequencing surgical cases in a day-care environment: An exact Branch-and-price approach.* Computers & Operations Research 36 (2009a) 2660-2669

_____. *Optimizing a multiple objective surgical case sequencing problem.* International Journal of Production Economics 119 (2009b) 354-366

_____. *Operating room planning and scheduling: a literature review.* European Journal of Operational Research 201 (2010) 921-932

DAI, L.; LI, Z.; ZHAO, L. *Application of integer programming in the surgical scheduling.* Proceedings of 2nd International Conference on Logistics and Service Science (2013) 553-561

DEMEULEMEESTER, E.; BELIËN, J.; CARDOEN, B.; SAMUDRA, M. *Operating Room Planning and Scheduling.* Handbook of Healthcare Operations Management: Methods and Applications 121-152. New York: Springer, 2013

FEI, H.; MESKENS, N.; CHU, C. *A planning and scheduling problem for an operating theatre using open scheduling strategy.* Computers & Industrial Engineering 58 (2010) 221-230

FEI, H.; MESKENS, N.; COMBES, C.; CHU, C. *The endoscopy scheduling problem: a case study with two specialised operating rooms.* International Journal of Production Economics 120 (2009) 452-462

FÜGENER, A.; HANS, E. W.; KOLISCH, R.; KORTBEEK, N.; VANBERKEL, P. T. *Master surgery scheduling with consideration of multiple downstream units.* European Journal of Operational Research 239 (2014) 227-236

HANS, E.; WULLINK, G.; HOUDENHOVEN, M. V.; KAZEMIER, G. *Robust surgery loading.* European Journal of Operational Research 185 (2008) 1038-1050

HOLTE, M.; MANNINO, C. *The implementor/adversary algorithm for the cyclic and robust scheduling problem in health care.* European Journal of Operational Research 226 (2013) 551-559

HOUDENHOVEN, M. V.; OOSTRUM, J. M. V.; WULLINK, G.; HANS, E.; HURINK, J. L.; BAKKER, J.; KAZEMIER, G. *Fewer intensive care unit refusals and a higher capacity utilization by using a cyclic surgical case schedule.* Journal of Critical Care 23 (2008) 222-226

JEANG, A.; CHIANG, A. *Economic and quality scheduling for effective utilization of operating rooms.* Journal of Medical Systems 36 (2012) 1205-1222

JEBALI, A.; ALOUANE, A. B. H.; LADET, P. *Operating rooms scheduling.* International Journal of Production Economics 99 (2006) 52-62

KHARRAJA, S.; ALBERT, P.; CHAABANE, S. *Block scheduling: toward a master surgical schedule.* Proceedings of International Conference on Service Systems and Service Management, Vols 1 and 2, 2006

MARQUES, I.; CAPTIVO, M. E.; PATO, M. V. *An integer programming approach to elective surgery scheduling.* OR Spectrum 34 (2012) 407-427

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 3 (2011) 392-405

MESKENS, N.; DUDIVIER, D.; HANSET, A. *Multi-objective operating room scheduling considering desiderata of the surgical team.* Decision Support Systems 55 (2013) 650-659

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

MIN, D.; YIH, Y. *Scheduling elective surgery under uncertainty and downstream capacity constraints.* European Journal of Operational Research 206 (2010a) 642-652

_____. *An elective surgery scheduling problem considering patient priority.* Computers & Operations Research 37 (2010b) 1091-1099

OOSTRUM, J. M. V.; HOUDENHOVEN, M. V.; HURINK, J. L.; HANS, E. W.; WULINK, G.; KAZEMIER, G. *A master surgical scheduling approach for cyclic scheduling in operating room departments.* OR Spectrum 30 (2008) 355-374

PHAM, D. N.; KLINKERT, A. *Surgical case scheduling as a generalized job shop scheduling problem.* European Journal of Operational Research 185 (2008) 1011-1025

PINEDO, M. L. *Planning and Scheduling in Manufacturing and Services.* New York: Springer, 2005

ROLAND, B.; MARTINELLI, C.; RIANE, F.; POCHE, Y. *Scheduling an operating theatre under human resource constraints.* Computers & Industrial Engineering 58 (2010) 212-220

SAREMI, A.; JULA, P.; ELMKAWY, T.; WANG, G. G. *Appointment scheduling on outpatient surgical services in a multistage operating room department.* International Journal of Production Economics 141 (2013) 646-658

SHYLO, O.V.; PROKOPYEV, O. A.; SCHAEFER, A. *Stochastic operating room scheduling for high-volume specialties under block booking.* INFORMS Journal of Computing 4 (2013) 682-692

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R.; BETTS, A. *Operations and Process Management: Principles and Practice for Strategic Impact.* Pearson Educational Limited, 2006

SU, M.; LAI, S.; WANG, P.; HSIEH, Y.; LIN, S. *A SOMO-based approach to the operating room scheduling problem.* Expert Systems with Applications 38 (2011) 15447-15454

TÀNFANI, E.; TESTI, A. *A pre-assignment heuristic algorithm for the master surgical scheduling problem (MSSP).* Annals of Operations Research 178 (2010) 105-119

VIJAYAKUMAR, B.; PARIKH, P. J.; SCOTT, R.; BARNES, A.; GALLIMORE, J. *A dual bin-packing approach to scheduling surgical cases at a publicly-funded hospital.* European Journal of Operational Research 224 (2013) 583-591

ZHAO, Z.; LI, X. *Scheduling elective surgeries with sequence-dependent setup times to multiple operating rooms using constraint programming.* Operations Research for Health Care 3 (2014) 160-167

7 CONCLUSÃO

Esta tese apresentou abordagens baseadas em métodos otimizantes para o planejamento de recursos físicos de um BC hospitalar, área com maior circulação de pacientes e profissionais, e com maior fluxo de receitas e despesas do hospital. Na tese, tais abordagens são divididas em cinco artigos que inicialmente identificam os métodos atualmente empregados na literatura em geral e no hospital universitário utilizado como referência neste estudo para propor novas soluções para problemas estratégicos, táticos e operacionais de extrema relevância no contexto da gestão eficiente dos recursos físicos de um BC.

Os métodos otimizantes apresentados nesta tese se referenciam em dados históricos dos tempos de realização dos procedimentos cirúrgicos de um hospital universitário para calcular, por especialidade cirúrgica, o número esperado de cirurgias realizáveis por turno de trabalho e o tempo esperado de permanência dos pacientes nos leitos de recuperação da URPA. Tais métricas são fundamentais para prever o número de cirurgias realizáveis pelas especialidades cirúrgicas por período, e os períodos de ocupação das SC's e dos leitos de recuperação da URPA visando a atender a demanda de cirurgias eletivas das especialidades cirúrgicas do BC.

Na atualidade, as equipes cirúrgicas do BC do hospital universitário divulgam a programação das cirurgias nas SC's apenas na véspera de sua realização, sem considerar os impactos da sequência de cirurgias na ocupação das SC's e dos leitos de recuperação da URPA, prática que resulta em utilização ineficiente dos recursos físicos do BC. Neste sentido, o Capítulo 2 apresenta uma revisão sistemática das abordagens de solução dos problemas táticos e operacionais, respectivamente, conhecidos como *Master Surgery Scheduling Problem* (MSSP) e *Surgery Case Sequencing Problem* (SCSP). O MSSP se refere à geração de uma escala cíclica de alocação dos blocos de tempo das SC's às especialidades cirúrgicas do BC, enquanto que o SCSP se refere ao sequenciamento das cirurgias eletivas das especialidades cirúrgicas alocadas aos blocos de tempo das SC's pelo MSSP. A pesquisa identifica oportunidades para o desenvolvimento de abordagens sequenciais de solução desses problemas focadas em maximizar a realização de cirurgias eletivas e a utilização de capacidade de SC's e de leitos de recuperação da URPA.

A base conceitual acerca das relações entre as decisões de planejamento e seus impactos na ocupação dos recursos físicos do BC é aprofundada no Capítulo 3 com uma pesquisa qualitativa realizada com um cirurgião líder de equipes cirúrgicas de um hospital público e de um hospital privado, e com especialistas de áreas de apoio do BC do hospital universitário,

visando a identificar efeitos das decisões táticas e operacionais atuais desses BC's na utilização dos seus recursos físicos. Como resultado, a pesquisa identificou que as sequências originais de realização das cirurgias das escalas cirúrgicas são frequentemente alteradas devido a modificações do quadro clínico dos pacientes, pela chegada de pacientes em estado de urgência ou emergência ao BC, e pela indisponibilidade temporária de leitos de recuperação da URPA. O congestionamento dos leitos da URPA resulta em bloqueio de SC's e no replanejamento das atividades das áreas de apoio do BC, indicando que os métodos atuais de planejamento não utilizam de forma eficiente os recursos físicos do BC, de tal forma que se espera que a utilização de um aplicativo computacional no planejamento tático e operacional resulte em uso mais eficiente dos recursos dos BC's, principalmente em relação à utilização de capacidade de SC's e de leitos de recuperação da URPA, e ao compartilhamento de equipamentos e instrumentais cirúrgicos.

Os problemas estratégicos abordados na tese se referem ao dimensionamento do número requerido de SC's e de leitos de recuperação da URPA, e ao compartilhamento ótimo desses recursos físicos, conhecido como *Case Mix Planning Problem (CMPP)*, para atender a demanda de cirurgias eletivas das especialidades cirúrgicas do BC. O Capítulo 4 apresenta uma abordagem de solução simultânea dos problemas estratégicos supracitados com um modelo de otimização em Programação Inteira que utiliza os blocos de tempo das SC's como variáveis de decisão, com objetivo de minimizar o número de SC's e de leitos de recuperação da URPA necessários para atender à demanda mínima de cirurgias das especialidades cirúrgicas do BC, ao mesmo tempo em que determina o compartilhamento ótimo desses recursos entre as especialidades cirúrgicas do BC. O modelo converte a demanda de cirurgias eletivas das especialidades cirúrgicas em demanda de blocos de tempo das SC's e minimiza o número necessário de SC's e leitos de recuperação da URPA do BC em diferentes níveis de atendimento da demanda de cirurgias das especialidades cirúrgicas. Os resultados numéricos comprovam as influências dos tempos de realização de cirurgias e de permanência dos pacientes nos leitos da URPA, característicos das especialidades cirúrgicas, e da demanda de blocos de tempo das SC's no dimensionamento dos recursos físicos do BC.

Na sequência da abordagem estratégica, os Capítulos 5 e 6 apresentaram duas abordagens otimizantes de solução sequencial dos problemas MSSP e SCSP. No Capítulo 5, um modelo de otimização para o MSSP, em Programação Inteira, gera a escala semanal de alocação dos blocos de tempo das SC's às especialidades cirúrgicas com objetivo de minimizar o

número de cirurgias eletivas semanais não agendadas. Na sequência da solução do MSSP, o modelo de otimização para o SCSP, em Programação Linear, minimiza os tempos de folga intencionalmente inseridos antes do início das cirurgias para identificar a sequência viável de realização das cirurgias nas SC's que resulta no menor *makespan* de ocupação dos leitos de recuperação da URPA. Uma restrição no modelo do MSSP vincula os dois problemas, MSSP e SCSP, impedindo a alocação no mesmo turno de trabalho de combinações de especialidades cirúrgicas cujo tempo requerido nos leitos de recuperação da URPA exceda o tempo total dos leitos de recuperação da URPA disponíveis no turno de trabalho. Os resultados numéricos considerando níveis de atendimento mínimo de 60 e 80% da demanda de cirurgias das especialidades cirúrgicas resultam, respectivamente, em 30,5 e 11,3% de cirurgias não agendadas, equivalentes ao atendimento de 69,5 e 88,7% da demanda de cirurgias, ocupando entre 70,3 e 72,7% da capacidade das SC's e entre 74,8 e 82,0% da capacidade da URPA.

A segunda abordagem de solução sequencial dos problemas MSSP e SCSP, apresentada no Capítulo 6, objetiva maximizar a realização de cirurgias eletivas semanais, assegurando que ao menos um bloco de tempo diário das SC's seja alocado às especialidades cirúrgicas do BC. Essa abordagem pode ser adotada como alternativa à abordagem de atendimento mínimo da demanda de cirurgias do Capítulo 5, a qual mantém a restrição do modelo do MSSP que vincula os dois problemas, MSSP e SCSP, e a minimização dos tempos de folga antes do início das cirurgias no modelo do SCSP. A aplicação da abordagem proposta aos mesmos cenários dos BC's testados no Capítulo 5 resulta entre 2,2 e 7,9% mais cirurgias do que sob a abordagem de atendimento mínimo da demanda de cirurgias eletivas do Capítulo 5, ocupa entre 3,3 e 7,4% mais capacidade das SC's e entre 3,9 e 14,4% mais capacidade dos leitos de recuperação da URPA. Os resultados da aplicação das abordagens de solução sequencial dos problemas MSSP e SCSP, apresentadas nesta tese, qualificam as mesmas como alternativas utilizáveis pela gestão do BC para cumprimento de seus objetivos de desempenho.

As abordagens propostas na tese podem ser expandidas e aprimoradas com a inclusão de outras características do ambiente real que impactam no planejamento e na utilização eficiente dos recursos físicos de um BC. Neste sentido, os modelos de otimização devem incluir aspectos relacionados à disponibilidade dos recursos físicos e humanos do BC no período de tempo considerado na programação de cirurgias. Com relação aos recursos físicos do BC, devem ser consideradas restrições relacionadas à disponibilidade de SC's, leitos de URPA e

de outras áreas do BC ao longo dos turnos de trabalho da semana, a compatibilidade entre SC's e os recursos requeridos pelas especialidades cirúrgicas, além de questões relacionadas ao compartilhamento de equipamentos e de instrumentais cirúrgicos entre as especialidades cirúrgicas do BC. No caso dos recursos humanos, os métodos propostos devem incluir a geração de escalas de anestesistas, equipes de enfermagem e de higienização atuantes nas SC's e na URPA. Da mesma forma, devem ser incluídas investigações que relacionem questões qualitativas referentes às preferências específicas dos cirurgiões no ordenamento das cirurgias, visando a necessidade de recuperação dos efeitos da fadiga dos cirurgiões e técnicas que minimizem tais efeitos entre duas cirurgias consecutivas. Em abordagem quantitativa, devem ser incluídos aspectos referentes a outras distribuições estatísticas que representem os tempos esperados dos procedimentos cirúrgicos das especialidades cirúrgicas e os tempos de permanência dos pacientes nos leitos da URPA, além de métodos específicos de predição da demanda de cirurgias das especialidades cirúrgicas do BC.