

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

Bruno Miranda dos Santos

**Contribuições para a Gestão de Operações em Centros de  
Materiais e Esterilização**

Porto Alegre, 2024

Bruno Miranda dos Santos

## **Contribuições para a Gestão de Operações em Centros de Materiais e Esterilização**

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

Orientador: Flavio Sanson Fogliatto,  
Ph.D.

Porto Alegre, 2024

Bruno Miranda dos Santos

## **Contribuições para a Gestão de Operações em Centros de Materiais e Esterilização**

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.

---

**Prof. Flavio Sanson Fogliatto, Dr.**  
Orientador PPGEP/UFRGS

---

**Prof. Michel José Anzanello, Dr.**  
Coordenador PPGEP/UFRGS

### **Banca examinadora:**

Professora Ana Maria Müller de Magalhães, Dra. (Universidade Federal do Rio Grande do Sul)

Professor Tarcísio Abreu Saurin, Dr. (Universidade Federal do Rio Grande do Sul)

Professor Guilherme Luz Tortorella, Dr. (University of Melbourne, Austrália)

*“Uma vida simples e tranquila traz mais  
alegria que a busca pelo sucesso em uma  
inquietação constante.”*

Albert Einstein

## **Agradecimentos**

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me dado sabedoria e todos os recursos necessários que me permitiram desfrutar de uma jornada enriquecedora de desafios e superações.

Eu agradeço também, a minha família, que se fez novamente presente na minha terceira jornada acadêmica, dando suporte e me encorajando a seguir em frente. Suas palavras de incentivo foram um grande impulso nos momentos desafiadores.

Não poderia deixar de agradecer também, ao meu orientador, Prof. Flavio Fogliatto, pela orientação constante, pela paciência e pela inspiração ao longo deste período. Sua expertise e insights foram fundamentais para moldar esta pesquisa e para o meu crescimento acadêmico e profissional.

À banca examinadora, agradeço por dedicar seu tempo para revisar meu trabalho e fornecer oportunidades de aprimoramento que enriquecem esta tese.

Minha gratidão se estende aos amigos que fiz durante essa jornada. Momentos de lazer, risadas e descontração foram extremamente importantes para manter a saúde mental de pé. Isso tudo reforça ainda mais a minha crença de que o valor está no percurso, e não na chegada.

Não poderia deixar de expressar o meu super obrigado para a Carol, amor da minha vida. Esteve ao meu lado praticamente durante toda minha jornada de doutorado, contribuindo em parte desta tese, dando suporte, incentivo e amor. Eu não tenho dúvidas de que o maior título que recebo ao terminar essa jornada não é o de Doutor em Engenharia de Produção, mas sim o de sortudo por ter você, Carol, como minha companheira e inspiração.

Agradeço ao CNPq, pelo financiamento fornecido para minha pesquisa e os projetos nos quais participei.

E, por fim, a todos que de certa forma contribuíram direta ou indiretamente para este estudo. Todos vocês, de uma forma ou de outra, contribuíram para esta tese e para o profissional que sou.

## RESUMO

À medida que os gastos com cuidados de saúde aumentam, buscam-se maneiras inovadoras de aumentar a eficiência e reduzir desperdícios. Os Centros de Materiais e Esterilização (CME) representam um setor do hospital onde há diversas oportunidades de otimizar o fluxo de trabalho e o uso de suprimentos. Evidências sugerem que a redundância de instrumentos em Bandejas Cirúrgicas (BC) tende a ser alta e que ganhos de eficiência e economias diretas de custos podem ser alcançadas por meio da otimização das BCs. Os CMEs podem também se beneficiar com estudos que miram outros aspectos, como é o caso da identificação de Cadeias de Ajuda (do inglês, *Help Chain* – HC) para os principais problemas referentes à montagem de BCs. A HC é uma prática de resolução de problemas fundamentada nos princípios do *lean manufacturing* e adotada nos serviços de saúde, que apresentam características de complexidade distintas em comparação com a manufatura. Nesse sentido, é empregada a Análise de Redes Sociais (SNA) como ferramenta analítica eficaz para lidar com a complexidade das HCs na área da saúde e dar visibilidade a resolução de problemas. Com base nisso, esta tese de doutorado teve como objetivo fornecer contribuições teórico-práticas no campo da gestão de operações em um CME de um hospital materno infantil localizado no sul do Brasil. Como resultados, um modelo matemático customizado foi desenvolvido para otimizar o uso de bandejas cirúrgicas básicas pelo hospital, resultando em redução de instrumentos e aumento das eficiências de uso das BCs e uma nova abordagem para o design de HCs em serviços de saúde, utilizando SNA para demonstrar a complexidade do sistema e fornecer visibilidade a caminhos alternativos para a resolução de problemas.

**Palavras-chave:** Centros de Materiais e Esterilização, Análise de Redes Sociais, Cadeias de Ajuda, Bandejas Cirúrgicas, Lean Manufacturing

## ABSTRACT

With the growth of the healthcare sector, innovative ways of increasing the efficiency and reduce waste are being sought. The Central Sterile Supplies Departments (CSSD) is an area where there are many opportunities to optimize the workflow and the consume of resources. Evidence suggests that the redundance of surgical instruments in Surgical Trays (ST) tends to be high, therefore gains in efficiency and savings in direct costs could be achieved through the optimization of STs. CSSD's could also benefit from other research, such as Help Chain (HC) identification, to unveil the main problems regarding STs assembly. HC is a practice of problems resolution, which is based on Lean manufacturing principles and adopted in the healthcare services, which presents different characteristics when compared to manufacturing environment. the Social Network Analysis (SNA) was proposed as an analytical technique to deal with the HCs complexity in the healthcare area and give visibility to paths for problems solution. This research objective is to contribute to the operations management in healthcare. The case study was in the CSSD department of a maternity and pediatric hospital, located in the south of Brazil. As a result, a customized mathematical model was developed to optimize the use of STs by the hospital, providing instrument's reduction and efficiency increase. In addition, a new approach to design HCs in healthcare services was proposed SNA was used to demonstrate systems complexity and give visibility to alternative paths to problems solving.

**Keywords:** Central Sterile Supplies Departments, Social Network Analysis, Help Chain, Surgical Trays, Lean Manufacturing

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>1.1 Tema da tese.....</b>	<b>15</b>
<b>1.2 Objetivo da Tese.....</b>	<b>15</b>
<b>1.3 Justificativa do tema e dos objetivos.....</b>	<b>16</b>
<b>1.4 Delineamento do Estudo.....</b>	<b>16</b>
1.4.1 Método de Pesquisa.....	16
1.4.2 Método de Trabalho.....	17
<b>1.5 Delimitações do Estudo .....</b>	<b>19</b>
<b>1.6 Estrutura da Tese .....</b>	<b>20</b>
<b>Referências.....</b>	<b>21</b>
<b>2. ARTIGO 1 – Approaches to the rationalization of surgical instrument trays: scoping review and research agenda.....</b>	<b>23</b>
<b>3. ARTIGO 2 – Modeling help chains in health services as social networks: moving from linearity to complexity .....</b>	<b>24</b>
<b>4. ARTIGO 3 – A mathematical model for optimizing surgical trays: Case study in a Brazilian hospital .....</b>	<b>25</b>
<b>4.1. Introduction.....</b>	<b>26</b>
<b>4.2. Background.....</b>	<b>27</b>
<b>4.3. Method.....</b>	<b>29</b>
4.3.1 Research design.....	29
4.3.2 Data .....	31
4.3.3 Mathematical Model.....	31
<b>4.4. Results and Discussion .....</b>	<b>34</b>
4.4.1 Base Scenario .....	34
<b>4.5. Conclusion .....</b>	<b>38</b>
<b>References.....</b>	<b>40</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>43</b>



## LISTA DE FIGURAS

Figure 1. Process flow of Surgical Trays in the CSM.....	30
Figure 2. Reduction in the number of surgical instruments in each BT .....	37

## LISTA DE TABELAS

Table 1. Estrutura das etapas da pesquisa desenvolvida .....	18
Table 2. Parameters and decisions variables in the mathematical formulation.....	32
Table 3. Current composition of Basic Trays.....	35
Table 4. Performance of current BT scenario.....	35
Table 5. Composition of BTs generated by the mathematical model.....	36
Table 6. Performance of optimized BTs .....	36

## 1 INTRODUÇÃO

Duas preocupações principais parecem permear a indústria da saúde em todo o mundo (Ahmadi et al., 2019): redução dos investimentos públicos e o aumento da demanda por cuidados. Segundo a *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OCDE), enquanto os gastos do governo com saúde permaneceram constantes em média 8,8% do PIB de 2013 a 2018, a demanda por serviços de saúde está aumentando continuamente, resultando em sistemas superlotados que potencialmente expõem os pacientes a riscos e comprometem a qualidade dos processos. Uma das abordagens mais populares indicadas para melhoria de processos é a gestão Lean (Roemeling et al., 2017). Muitos estudos centrados no Lean na área da saúde relatam resultados bem-sucedidos (por exemplo, Prado-Prado et al., 2020; Leite, 2023), em contrapartida, existem estudos que questionam a aplicação do Lean na área da saúde (Mazzocato et al., 2010; Radnor e Osborne, 2013).

O estudo de Hines et al. (2004) mostra que a forma como o Lean lida com a variabilidade recebeu algumas críticas. Assim, embora existam estudos que demonstraram resultados positivos sobre os efeitos do Lean na saúde, ainda é questionável se o Lean é bem compreendido e aplicado nesses ambientes (Bhamu e Singh Sangwan, 2014). No que diz respeito aos aspectos do Lean que promovem a melhoria de processos, é consensual entre a maioria dos estudiosos que alguns pontos fundamentais incluem a minimização do desperdício e da variabilidade, bem como o aprimoramento contínuo.

Evidências recentes de sistemas de saúde operando em capacidade máxima foram trazidas pelo surto da COVID-19, uma emergência de saúde pública em escala global (Khot et al., 2020). Nesses contextos, os esforços gerenciais para otimizar os processos de saúde e reduzir desperdícios tornam-se particularmente recomendáveis. Um desses processos é a esterilização e montagem de Bandejas Cirúrgicas (BC), que acontece nos Centros de Materiais e Esterilização (CME). Os materiais de um CME, em particular, são demandados por diversos setores dentro do hospital que podem concorrer pelos mesmos itens (Alvekrans et al., 2016). O problema cresce em complexidade ao se considerar a falta de padronização do processo de montagem de BCs e a má logística de distribuição do material (Avansino et al., 2013).

Dado o contexto inicial apresentado, e à luz da complexidade enfrentada pelo setor da saúde, o qual pode ser visto como um sistema sociotécnico complexo (Salmon et al., 2017), mais especificamente os CMEs, argumenta-se que o Lean pode ser um

caminho com capacidade de não só reduzir a variabilidade dos processos, mas também de contribuir numa resposta mais efetiva à variabilidade, que na maioria dos casos é inevitável. Como tal, o trabalho em ambientes de saúde não se limita a seguir procedimentos operacionais padronizados (Wachs e Saurin, 2018). Além das barreiras técnicas, organizacionais e culturais (Bakdash e Drews, 2012), os procedimentos não abrangem todas as situações de trabalho possíveis e, inevitavelmente, existem lacunas entre o *work-as-imagined* (trabalho como é imaginado) e o *work-as-done* (trabalho como é feito) (Clay-Williams et al., 2015). Diante disso, essa tese aborda uma perspectiva de redução da variabilidade, tendo como foco as abordagens que são utilizadas para racionalização de bandejas/instrumentos cirúrgicos e uma visão de resposta à variabilidade, uma vez que durante o processo de montagem de BCs, problemas são inevitáveis e demandam uma solução imediata.

As BCs são recipientes que acomodam instrumentos cirúrgicos (Kroes 2009). Cada BC deveria conter os instrumentos necessários para realizar um procedimento cirúrgico ou família de procedimentos. A configuração da BC, quando bem projetada, oferece um conjunto mínimo de instrumentos para realizar o maior número de procedimentos dentro de uma especialidade (Fogliatto et al., 2020). A gestão da BC está centrada em quatro questões principais: (i) quais instrumentos devem ser colocados nos BCs; (ii) em que quantidades; (iii) quais BCs são usadas em quais procedimentos cirúrgicos; e (iv) quantas BCs de cada tipo devem ser mantidas em estoque. Enquanto (i) e (ii) são afetados pelas preferências dos cirurgiões, (iii) e (iv) dependem da frequência e programação dos procedimentos no centro cirúrgico (Ahmadi et al., 2019).

BCs podem ser requisitadas por muitos departamentos do hospital, como os blocos cirúrgicos e centros obstétricos. Por essa razão, no cenário que existe mais de uma unidade hospitalar competindo muitas vezes pelos mesmos conjuntos de instrumentos cirúrgicos, a complexidade do atendimento à demanda e das relações entre os indivíduos fica mais acentuada. Pesquisas empíricas mostraram que melhorar o gerenciamento dos instrumentos cirúrgicos oferece uma oportunidade para reduzir significativamente os desperdícios de se ter instrumentos redundantes e/ou bandejas ineficientes (Mhlaba et al., 2015; Weiss et al., 2016; Ahmadi et al., 2019). Nesse sentido, conhecer as abordagens e técnicas utilizadas na racionalização de BCs pode contribuir para reduzir a variabilidade deste processo.

Diante disso, foram identificadas três abordagens principais na literatura sobre racionalização/otimização de BCs (análise de especialistas, práticas lean e

programação matemática) que reúnem diversas técnicas dentro de cada abordagem, que foram usadas para atingir objetivos de redução de desperdícios (i.e., redução da variabilidade). Programação matemática foi a abordagem utilizada com o objetivo de contemplar um dos argumentos levantados pelo lean (reduzir a variabilidade), como forma de propor um meio para resolver o problema de composição de bandejas cirúrgicas no hospital objeto deste estudo.

Reconhecendo a necessidade de lidar com os problemas à medida que surgem, o Lean adota o princípio Jidoka, que dá autonomia aos trabalhadores da linha de frente para que possam detectar e corrigir os problemas antes que eles ocorram em cascata (Vinodh e Joy 2012; Deuse et al., 2020). Jidoka também reconhece que os trabalhadores da linha de frente podem precisar de apoio para lidar com os problemas. Assim, inclui a prática da Cadeia de Ajuda (do inglês, *Help Chain* - HC), definida como um procedimento padronizado de resolução de problemas envolvendo o líder da equipe e os funcionários das áreas de apoio, visando a rápida retomada do fluxo produtivo (Tortorella e Fettermann 2018; Flinchbaugh 2007).

A HC típica define os indivíduos específicos que devem ser chamados em momentos de necessidade, seguindo uma lógica linear de solicitar auxílio a escalões superiores se os escalões inferiores não forem capazes de restabelecer a produção dentro de um prazo predefinido (Sting & Loch 2016). Na área da saúde, devido à alta complexidade, o pressuposto de linearidade da HC preconizado pelo *lean* pode não ser viável. Vários autores (e.g., Roemeling et al., 2017; Ferreira e Saurin, 2019; Salehi et al., 2021) consideram a saúde como o setor que sintetiza o conceito de sistemas sociotécnicos complexos devido a características como alta incerteza; portanto, uma resposta rápida e eficiente à variabilidade pode contribuir para manter a resiliência dos processos.

De maneira geral, o conhecimento da literatura e, mais profundamente, de todas as etapas que compõem o processo de montagem de BCs, revelou a existência de diversos problemas que podem afetar a qualidade das BCs. Na maioria dos casos, esses problemas estão relacionados, mas não se limitam, à falha de comunicação entre os profissionais do CME e de outras unidades consumidoras de BCs, falta de um procedimento padrão de montagem e lista de instrumentos desatualizadas. Sendo assim, tomando o outro argumento levantado pelo Lean sobre como os sistemas respondem à variabilidade, foram mapeadas e desenhadas as Cadeias de Ajuda para resolução de cinco problemas dentro do mesmo hospital, desenvolvendo dessa forma, uma abordagem que dá visibilidade à cadeia de ajuda (com métricas como centralidade do ator e sua disponibilidade) de cada problema analisado.

Como limitação para a investigação empírica de HC na saúde e em outros setores, a literatura não fornece prescrições claras sobre como projetar uma HC – por exemplo, como definir os participantes da HC e quais áreas de apoio devem ser incluídas. Dada a falta de teoria enxuta específica sobre HCs, foi utilizada a Análise de Redes Sociais (SNA) como lente teórica. A SNA permite mapear, medir e analisar as interações sociais entre atores ou grupos de atores, seja amizade, trabalho em grupo ou a simples troca de informações (Borgatti et al., 2009; Sloane & O'Reylli, 2013).

Portanto, diante deste contexto, são colocados dois caminhos que surgem como promissores e que norteiam a presente tese. O primeiro diz respeito às ações que visam reduzir a variabilidade do processo, isto é, a racionalização e otimização das bandejas cirúrgicas. O segundo se refere a como este processo e os profissionais envolvidos respondem à variabilidade, ou seja, dando visibilidade aos problemas e desenhando HCs eficientes. O setor onde este estudo foi desenvolvido é um Centro de Materiais e Esterilização (CME) de um hospital público materno infantil, localizado na cidade de Porto Alegre/RS. Sendo assim, algumas questões de pesquisa foram estabelecidas para guiar a tese. Em primeiro lugar: (i) qual é a literatura existente sobre racionalização de bandejas cirúrgicas em organizações de saúde? (ii) quais são as principais abordagens e técnicas relatadas para racionalização de bandejas cirúrgicas?; (iii) quais são as áreas impactadas pela racionalização, considerando o desempenho operacional e econômico?; e (iv) quais são as lacunas de pesquisa na literatura sobre racionalização de BCs que poderiam ser organizadas em uma futura agenda de pesquisa?. Em segundo lugar, levando em conta que o CME é o local que armazena os instrumentos cirúrgicos e distribui para as unidades que solicitam e que, por essa razão, as relações sociais entre os colaboradores passa a ser de singular importância, surge a questão: (i) como uma HC em serviços de saúde pode ser modelada e interpretada sob a ótica da análise de redes sociais? e (ii) quais são os pontos em comum e as diferenças entre as perspectivas *lean* e SNA das HCs?. Somando-se a isto, verifica-se que estas questões levantadas para processos na área da saúde são bastantes restritas e pouco exploradas na literatura recente.

## 1.1 Tema da tese

O funcionamento com qualidade dos sistemas de saúde é um elemento que pode ter um impacto direto para os cidadãos. No entanto, o aumento da procura por serviços de saúde e recursos cada vez mais escassos estão desafiando o sistema público de saúde. Como resposta a essas restrições, gerentes e profissionais de saúde têm trabalhado em conjunto para adaptar práticas industriais de melhorias de processo, como o Lean, para operações de saúde (Leite et al., 2022). O Lean oferece diversos caminhos para se obter a redução de desperdícios em muitos tipos de processos. Nesta tese, foi usada a visão do Lean para demonstrar como se obter a redução da variabilidade (através da racionalização/otimização de bandejas e instrumentos cirúrgicos) e como responder à variabilidade inevitável (dando visibilidade as cadeias de ajuda dos principais problemas que ocorrem na montagem de BCS e de que forma podem ser solucionados).

## 1.2 Objetivo da Tese

O objetivo geral desta tese é fornecer contribuições teórico-práticas no campo da gestão de operações na área da saúde em um Centro de Materiais Esterilizados (CME).

Para que seja possível alcançar o objetivo geral deste trabalho, é necessário atingir os seguintes objetivos específicos:

- a) Identificar as abordagens e técnicas utilizadas na racionalização e otimização de bandejas cirúrgicas com base na literatura.
- b) Entender as etapas que formam o processo de racionalização e otimização de bandejas cirúrgicas e propor técnicas que possam contribuir para a redução da redundância de instrumentos.
- c) Investigar quais são os principais problemas que estão relacionados aos instrumentos cirúrgicos no CME e em outras duas unidades (Bloco Cirúrgico e Centro Obstétrico).
- d) Discutir como a HC dos problemas é imaginada (*work-as-imagined*) e como é operacionalizada (*work-as-done*).
- e) Levantar os instrumentos cirúrgicos utilizados nas bandejas básicas pelos 38 procedimentos realizados hospital.

- f) Desenvolver um modelo matemático personalizado para otimizar o uso das bandejas básicas abrangendo os 38 procedimentos analisados.
- g) Propor novas configurações de bandejas básicas.

### **1.3 Justificativa do tema e dos objetivos**

O tema desta tese envolve duas áreas principais: (i) estudo sobre racionalização e otimização de bandejas cirúrgicas e (ii) desenho de HCs envolvendo três departamentos do hospital a fim de evitar a interrupção de processos quando problemas são identificados. A área (i) tem recebido destaque nos últimos anos. A utilização de técnicas que abordam adequadamente a complexidade da montagem de uma BC e que ao mesmo tempo possua apenas os instrumentos que serão utilizados no procedimento tem sido evidenciada em estudos recentes (Fogliatto et al., 2020; Cardoen et al., 2015). No entanto, pouco se sabe sobre quais técnicas se adequam melhor a cada uma das etapas do processo de racionalização de BCs. Do ponto de vista da otimização de BCs, a ideia de se usar bandejas modulares pode permitir a combinação de instrumentos que sirvam a várias especialidades, a fim de responder de maneira conveniente à demanda das unidades que consomem os materiais hospitalares. Em relação à área (ii), é essencial que se tenha mapeado os problemas que podem eventualmente surgir relacionados a montagem de BCs e que são distribuídas para as unidades consumidoras, pois dessa maneira é possível criar mecanismos que evitem a interrupção dos processos. Seguindo nessa linha, propomos o uso da SNA para desenhar as HCs que funcionam entre três departamentos do hospital, demonstrando o *work-as-imagined*, isto é, as HCs como imaginada pelas equipes, e contrapondo com o *work-as-done*, que é como efetivamente as HCs são funcionam.

### **1.4 Delineamento do Estudo**

Definidos os objetivos da tese e apresentada a justificativa da importância desta pesquisa, esta seção estabelece o delineamento do estudo pelo qual esses objetivos serão alcançados, considerando o método de pesquisa e o método de trabalho utilizados.

#### **1.4.1 Método de Pesquisa**

A pesquisa realizada nesta tese é classificada como qualitativa e quantitativa. Abordagens qualitativas têm ênfase na interpretação subjetiva dos indivíduos e no delineamento do contexto da pesquisa (Miguel, 2012). Abordagens quantitativas



utilizam-se de métodos lógico-dedutivos, explicando relações de causa/efeito e, por meio da generalização de resultados, tornando possível replicá-los em cenários e segmentos distintos do que apresentados neste estudo (Berto e Nakano 2000). Ambas as abordagens são úteis para estudos exploratórios, os quais são caracterizados pela investigação de fenômenos recentes e novos.

Em relação aos objetivos, esta tese é classificada como pesquisa exploratória e aplicada. Segundo Gil (2008), a pesquisa exploratória tem como finalidade o esclarecimento e delimitação de um tema buscando proporcionar uma nova perspectiva do problema. A natureza aplicada se deve ao interesse na aplicação, utilização e consequências práticas dos conhecimentos gerados buscando solucionar problemas específicos.

#### **1.4.2 Método de Trabalho**

A tese está estruturada em três artigos com objetivos específicos, os quais auxiliam o atingimento do objetivo geral da tese. Cada artigo e objetivo explorado faz referência a um campo de conhecimento abordado dentro da gestão de operações em sistemas de saúde. A estrutura do trabalho, os temas dos artigos, seus objetivos e métodos são apresentados na Tabela 1. Cabe ressaltar que os artigos são apresentados no formato de submissão aos periódicos internacionais estando, portanto, escritos em língua inglesa.

*Artigo 1 - Approaches to the rationalization of surgical instrument trays: scoping review and research agenda* (Abordagens para a racionalização de bandejas de instrumentais cirúrgicos: revisão de escopo e agenda de pesquisa) – Foi conduzida uma revisão de escopo da literatura para identificar e mapear as evidências disponíveis sobre o gerenciamento de BCs. Além disso, foi utilizada a metodologia PRISMA para estruturação dos resultados da busca por artigos. Foram revisados quarenta e oito artigos sobre Racionalização de Bandejas Cirúrgicas (do inglês, Surgical Tray Rationalization - STR), que foram agrupados de acordo com suas principais abordagens propostas: análise de especialistas, práticas enxutas e programação matemática.

*Artigo 2 – Social network analysis to map help chains in health services: moving from linearity to complexity* (Análise de redes sociais para mapear cadeias de ajuda em serviços de saúde: da linearidade à complexidade). O uso da SNA para mapear HCs foi testado em um hospital materno infantil, onde foram analisadas HCs relacionadas a cinco problemas. Os problemas diziam respeito ao fornecimento de instrumental

cirúrgico do Centro de Materiais e Esterilização (CME) para o Bloco Cirúrgico (BC) e Centro Obstétrico (CO). Foram analisados os cinco problemas mais frequentes relatados pelo gerente do CME. A SNA foi utilizada para desenhar as cinco redes de HC dos problemas, mostrando as interações entre os envolvidos na resolução. O pressuposto de linearidade da HC com base na produção enxuta não se confirmou quando confrontado com a complexidade dos serviços de saúde estudados.

*Artigo 3 - A mathematical model for optimizing surgical trays: Case study in a Brazilian hospital* (Modelo matemático para otimização de bandejas cirúrgicas: um estudo de caso em um hospital brasileiro). Um modelo matemático customizado foi desenvolvido para lidar com o problema de otimização de bandejas cirúrgicas, conhecido na literatura como *Tray Optimization Problem* (TOP). Atualmente, o hospital combina três bandejas básicas para oferecer uma maior abrangência no atendimento de 38 procedimentos cirúrgicos. Nosso modelo matemático, mantém a quantidade de bandejas, mas oferece três novas configurações de bandejas básicas, buscando obter uma maior eficiência.

**Table 1.** Estrutura das etapas da pesquisa desenvolvida

Estudos	Objetivo	Questões de Pesquisa	Revisão Teórica	Método de Pesquisa
<b>Artigo 1</b> <sup>(a)</sup>	Identificar abordagens e técnicas utilizadas para racionalização e otimização de Bandejas Cirúrgicas (BCs) e propor as técnicas mais adequadas de acordo com a etapa de racionalização	RQ1. Qual é a literatura existente sobre STR em organizações de saúde? RQ2. Quais são as principais abordagens e técnicas relatadas para STR? RQ3. Quais são as áreas impactadas pelo STR, considerando o desempenho operacional e econômico? RQ4. Quais são as lacunas de pesquisa na literatura STR que poderiam ser organizadas em uma futura agenda de pesquisa?	1. Abordagens para racionalização e otimização de BCs 2. Técnicas para racionalização e otimização de BCs 3. Etapas do processo de racionalização de BCs	Pesquisa qualitativa: revisão sistemática de bibliografia
<b>Artigo 2</b> <sup>(b)</sup>	Identificar problemas relacionados a instrumentos cirúrgicos e como são operacionalizadas as cadeias de ajuda entre três departamentos do hospital	RQ1. Como uma HC em serviços de saúde pode ser modelada e interpretada sob a ótica da análise de redes sociais? RQ2. Quais são os pontos em comum e as diferenças entre as perspectivas lean e SNA das HCs?	1. Cadeias de ajuda 2. Análise de redes sociais.	Pesquisa qualitativa e quantitativa: Coleta e interpretação de dados com base nas métricas de SNA

<b>Artigo 3</b> (c)	Desenvolver um modelo matemático customizado para otimizar bandejas básicas que atendem todos os procedimentos cirúrgicos analisados de um hospital público materno infantil	N/A	1. Otimização de bandejas cirúrgicas	Pesquisa quantitativa: 1. Coleta de dados 2. Elaboração do modelo 3. Discussão dos resultados
---------------------	--	-----	--------------------------------------	--

(a) Artigo publicado no periódico BMC Health Services Research.

(b) Artigo publicado no periódico International Journal of Production Research (IJPR)

(c) Artigo em desenvolvimento; submissão mais provável para International Journal of Production Research (IJPR)

### 1.5 Delimitações do Estudo

No campo da gestão de BCs, a gestão de instrumentos, realizada dentro do CME, que abastece diversos departamentos do hospital com materiais cirúrgicos, tem sido identificada como uma atividade complexa e intensiva em recursos devido a inventários não padronizados, instrumentos cirúrgicos redundantes e ciclos de esterilização desnecessários (Ribes-Iborra et al., 2022). Além disso, se calcula que pode haver uma economia significativa associada à redução de instrumentos em BCs (Cardoen et al., 2015; Weeks et al., 2022). No entanto, o cálculo do impacto financeiro, reflexo da redução de instrumentos e otimização de BCs, não faz parte do escopo desta tese. No que tange a racionalização e otimização de BCs, foram avaliados apenas dados de impacto operacional, ou seja, que podem interferir diretamente na performance dos processos do CME e das unidades por esse atendidas.

No campo da análise das HCs, a literatura ainda é bastante incipiente. A HC típica define os indivíduos específicos que devem ser chamados em momentos de necessidade, seguindo uma lógica linear de buscar ajuda de pessoas em posições hierárquicas superiores se pessoas abaixo dessa hierarquia não forem capazes de restabelecer a produção dentro de um prazo predefinido (Sting e Loch, 2016). Essa lógica, na área da saúde, acaba sendo confrontada pela complexidade do sistema, onde deve-se levar em consideração variáveis como disponibilidade, confiabilidade e agilidade das pessoas. Essas e outras variáveis podem influenciar no design da HC que será formada para cada problema identificado. A pesquisa foi limitada a explorar os fluxos de informação nas HCs, não estendendo a análise para incluir outros elementos, como *andons* e rotinas de aprendizagem para o gerenciamento diário.

## **1.6 Estrutura da Tese**

Esta tese está organizada em quatro capítulos principais. No Capítulo 1 foram introduzidos o problema, o tema a ser desenvolvido, bem como os objetivos, justificando a importância da pesquisa dos pontos de vista acadêmico e prático. O capítulo também apresentou o método de trabalho, a estrutura e as delimitações do estudo. Na sequência, os capítulos 2, 3 e 4 apresentam os artigos propostos, conforme estrutura apresentada na Tabela 1. O Capítulo 5 aborda as considerações finais.

## Referências

- Ahmadi E, Masel DT, Metcalf AY, Schuller K. Inventory management of surgical supplies and sterile instruments in hospitals: a literature review. *Health Systems*, 2019, 8(2), 134-151. doi: 10.1080/20476965.2018.1496875
- Alvekrans AL, Lantz B, Rosén P, Siljemyr L, Snygg J. From knowledge to decision—a case study of sales and operations planning in health care. *Production Planning & Control*, 2016, 27(12), 1019-1026. doi: 10.1080/09537287.2016.1174892
- Avansino JR, Goldin AB, Risley R, Waldhausen JH, Sawin RS. Standardization of operative equipment reduces cost. *Journal of Pediatric Surgery*, 2013, 48(9), 1843-1849. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2012.11.045
- Bakdash, J. Z., & Drews, F. A. (2012). Using knowledge in the world to improve patient safety: designing affordances in health care equipment to specify a sequential “Checklist”. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 22(1), 7-20.
- Berto, R.M.V.S. & Nakano, D.N., 2000. A produção científica nos anais do encontro nacional de engenharia de produção: um levantamento de métodos e tipos de pesquisa. *Produção*, 9(2), pp.65–75.
- Bhamu, J. and Singh Sangwan, K. (2014), “Lean manufacturing: literature review and research issues”, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 34 No. 7, pp. 876-940.
- Clay-Williams, R., Hounsgaard, J., & Hollnagel, E. (2015). Where the rubber meets the road: using FRAM to align work-as-imagined with work-as-done when implementing clinical guidelines. *Implementation Science*, 10(1), 1-8.
- Fogliatto FS, Anzanello MJ, Tonetto LM, Schneider DS, Muller Magalhães AM. Lean-healthcare approach to reduce costs in a sterilization plant based on surgical tray rationalization. *Production Planning & Control*, 2020, 1-13. doi: 10.1080/09537287.2019.1647366
- Fong AJ, Smith M, Langerman A. Efficiency improvement in the operating room. *Journal of Surgical Research*, 2016, 204(2), 371-383. doi: 10.1016/j.jss.2016.04.054
- Gil, A.C., 2008. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6ed. São Paulo: Atlas, 200p.
- Hines, P., Holweg, H. and Rich, N. (2004), “Learning to evolve: a review of contemporary Lean thinking”, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 24 No. 10, pp. 994-1011.
- Jack EP, Powers TL. A Review and Synthesis of Demand Management, Capacity Management and Performance in Health-care Services. *International Journal of Management Reviews*, 2009, 11 (2): 149–174. doi: 10.1111/j.1468-2370.2008.00235.x
- Kroes L. Creating More Efficiency and Patient Safety by Changing Processes and Contents of Instruments Trays. Master Thesis in Health Science, University of Twente, Enschede, The Netherlands, 2009.
- Leite, H. (2023). The role of lean in healthcare during COVID-19 pandemic. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 40(6), 1389-1411.
- Leite, H., Williams, S., Radnor, Z., & Bateman, N. (2022). Emergent barriers to the lean healthcare journey: baronies, tribalism and scepticism. *Production Planning & Control*, 1-18.
- Marconi, M. & Lakatos, E.M., 2003. Fundamentos de metodologia científica. 5ed. São Paulo: Atlas, 311p.

- Mazzocato, P., Savage, C., Brommels, M., Aronsson, H., & Thor, J. (2010). Lean thinking in healthcare: a realist review of the literature. *BMJ Quality & Safety*.
- Mhlaba JM, Stockert EW, Coronel M, Langerman AJ. Surgical instrumentation: the true cost of instrument trays and a potential strategy for optimization. *Journal of Hospital Administration*, 2015, 4(6), 82-88. doi: 10.5430/jha.v4n6p82
- Miguel, P.A.C., Fleury, A.; Mello, C.H.P.; Nakano, D. N.; Lima, E.P.; Turrioni, J.B.; Ho, L.L.; Morabito, R.; Martins, R.A.; Sousa R.; Costa, S.E.G.; Pureza, V., 2012. *Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações*. 2ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 260p.
- Prado-Prado, J. C., García-Arca, J., Fernández-González, A. J., & Mosteiro-Añón, M. (2020). Increasing competitiveness through the implementation of lean management in healthcare. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(14), 4981.
- Radnor, Z., & Osborne, S. P. (2013). Lean: a failed theory for public services?. *Public management review*, 15(2), 265-287.
- Ribes-Iborra, J., Segarra, B., Cortés-Tronch, V., Quintana, J., Galvain, T., Muehlendyck, C., ... & Navarrete-Dualde, J. (2022). Improving perioperative management of surgical sets for trauma surgeries: the 4S approach. *BMC Health Services Research*, 22(1), 1-12.
- Roemeling, O., Land, M., & Ahaus, K. (2017). Does lean cure variability in health care?. *International Journal of Operations & Production Management*, 37(9), 1229-1245.
- Salmon, P. M., Walker, G. H., M. Read, G. J., Goode, N., & Stanton, N. A. (2017). Fitting methods to paradigms: are ergonomics methods fit for systems thinking?. *Ergonomics*, 60(2), 194-205.
- Verleye, K., Jaakkola, E., Hodgkinson, I. R., Jun, G. T., Odekerken-Schröder, G., & Quist, J. (2017). What causes imbalance in complex service networks? Evidence from a public health service. *Journal of Service Management*.
- Volochtchuk, A. V. L., & Leite, H. (2022). Process improvement approaches in emergency departments: a review of the current knowledge. *International Journal of Quality & Reliability Management*.
- Wachs, P., & Saurin, T. A. (2018). Modelling interactions between procedures and resilience skills. *Applied ergonomics*, 68, 328-337.
- Weeks, W. B., & Weinstein, J. N. (2022). Reducing Surgical Instruments In Otolaryngology Instrument Trays—Realized Cost Savings Remain Uncertain. *JAMA Otolaryngology–Head & Neck Surgery*, 148(9), 893-893.
- Weiss A, Hollandsworth HM, Alseidi A, Scovel L, French C, Derrick EL, Klaristenfeld D. Environmentalism in surgical practice. *Current Problems in Surgery*, 2016, 53(4), 165–205. doi: 10.1067/j.cpsurg.2016.02.001
- Williams, S. J., & Radnor, Z. (2018). Using bandwidths to visualize and improve patient pathways. *Public Money & Management*, 38(1), 21-28.
- Womack, J. P., & Jones, D. T. (1997). Lean thinking—banish waste and create wealth in your corporation. *Journal of the Operational Research Society*, 48(11), 1148-1148.
- Womack, J., & Jones, D. (1990). *The machine that changed the world*. New York: Rawson. Associates, 1.

**2. ARTIGO 1 – Approaches to the rationalization of surgical instrument trays:  
scoping review and research agenda**

*Artigo publicado no periódico BMC Health Service Research*

*DOI: 10.1186/s12913-021-06142-8*

**3. ARTIGO 2 – Modeling help chains in health services as social networks:  
moving from linearity to complexity**

*Artigo publicado no periódico International Journal of Production Research*

*DOI: 10.1080/00207543.2023.2298486*



#### **4. ARTIGO 3 – A mathematical model for optimizing surgical trays: Case study in a Brazilian hospital**

##### **Abstract**

The operating rooms (ORs) constitute a significant portion of revenue while also generating waste. Therefore, enhancing efficiency and reducing waste become a high priority. Our goal was to develop a customized mathematical model to optimize the quantity of instruments in Basic Trays (BTs) to meet the demand for 38 surgical procedures. Data regarding the number of instruments used for each procedure, composition of BTs, and frequency of procedure occurrences were provided by the analyzed hospital. The intervention of the proposed approach resulted in a significant reduction in the quantity of instruments (37.50%), a notable increase in overall efficiency (from 58.40% to 76.12%), and a considerable reduction in instrument excess in BTs (from 53.66% to 24.63%). The intervention of the proposed approach demonstrates gains for the hospital. Combining the mathematical model with expert assessments can enhance the optimization of BTs. Improving the organization of trays can alleviate stress and prevent adverse events, allowing managers to focus on other value-added tasks for patients. Financial benefits could not be investigated due to limited understanding of how departments record monetary information. Achieving measurable and significant time savings is possible by examining instrument utilization rates and reducing redundancy in trays, leading to a reduction in performance variability and an overall improvement in efficiency.

**Keywords:** Help chain, Social network analysis, Lean production, Complexity, Health services.

#### 4.1. Introduction

Many hospitals are even more focused on strategies to improve operational performance and reduce costs. Perioperative services are often examined, as they frequently represent a significant portion of a hospital's budget (Macario et al., 1995; Canadian Institute of Health Information, 2020). In addition, surgical instruments are also a considerable expense for hospitals. Managerial efforts to control the related costs have gone beyond the main processes to include secondary ones, previously ignored. One such secondary process that has recently received attention is the Surgical Tray (ST) optimization (Dollevoet et al., 2018). Each ST is a container that holds surgical instruments (Malone et al., 2019), and is equipped with the necessary items for conducting a set of procedures.

The appropriate STs design provides a minimal set of essential instruments, facilitating the performance of a maximum number of procedures within a specialty (Fogliatto et al., 2020). Additionally, eliminating unnecessary or redundant instruments in STs can result in time savings (Fogliatto et al., 2018), reduce sterilization time (Yoon et al., 2019), ergonomic risks (Ahmadi et al., 2019), unnecessary instrument purchases (Harvey et al., 2017), operational effort, and increase the cost savings in Operating Rooms (ORs) (Humphries et al., 2018), without negative effects on patients (Greenberg et al., 2012; Harvey et al., 2017). However, despite the advantages, previous studies have demonstrated that hospitals design inappropriate STs. For example, Stockert and Langerman (2014) observed that about 83% of the instruments in STs were not necessary for the surgeries. Mhlaba et al. (2015) identified a set of STs with low instrument utilization rates, reaching about 14% and 29%. Similarly, Koyle et al. (2018) reported that only 42% of the instruments in pediatric trays were used.

Formally, the management of STs involves four primary inquiries: (i) the selection of instruments to be included in the STs; (ii) determining the quantities required; (iii) identifying which STs are utilized for specific surgical procedures; and (iv) establishing the optimal inventory levels for each type of ST. While (i) and (ii) are influenced by the preferences of surgeons, (iii) and (iv) hinge on the frequency and scheduling of procedures within the surgical center (Ahmadi et al., 2019). These inquiries can be addressed in the literature by mathematical optimization problems, named Tray Optimization Problem (TOP).

Despite the importance and significant impact of surgical tray management, there have been relatively few studies dedicated to addressing this topic. Previous implementations of ST optimization have often been expert-driven, involving labor-

intensive efforts focused on a small set of trays (Dos Santos et al., 2021). On the other hand, past studies based on mathematical programming models have typically tested models with simulated data due to the difficulty of obtaining real instrument usage data. The grouping (or assembly) of surgical instruments has many advantages; however, the actual design of trays is a complex combinatorial problem. In this study, we employed a linear programming approach to address the basic tray composition problem in a maternal and child hospital. The model presented in this research differs from other studies by incorporating the frequency of occurrence of 38 procedures performed in a maternal and child hospital as a weighting factor. This approach is used to propose new compositions for basic surgical trays that cater to all analyzed procedures.

This article is organized as follows. Section 2 provides a literature review of mathematical programming models used in the context of surgical tray optimization. Section 3 presents the method, detailing the development of the multi-objective linear programming model used for surgical tray configurations. Section 4 provides the results of the proposed mathematical formulation, Section 5 presents the discussion, and finally, Section 6 concludes the study.

## **4.2. Background**

Surgeons are particular about the instruments used during surgeries once these ensure comfort during stressful surgeries (Cichos et al., 2017). The Central Sterile Supplies Departments (CSSD) processes and assembles the Basic Trays (BT) that are then distributed to operating rooms (OR) to meet the specific needs of each procedure (Morris et al., 2014; Van Meter and Adam, 2016). However, there are often errors in determining the number and types of instruments required for each set (Cichos et al., 2017), resulting in an excess of instruments in the BTs (Humphries et al., 2018). Even if these instruments are not used, they need to be sterilized and repackaged due to being exposed to the environment, which leads to a waste of financial and human resources (Yalamanchi et al., 2022).

Dos Santos et al. (2021) conducted a literature review on the reduction of the number of STs and instruments on STs. The authors analyzed 48 papers published until October 2020 and identified a focus on three main approaches: Specialist Review (SR), Lean Thinking (LT), and Mathematical Programming (MP). This section presents a brief literature review of the papers published in the last few years that used MP models to create more efficient surgical trays. For a comprehensive overview of this topic, please refer to the review by Dos Santos et al. (2021).

Ahmadi et al. (2023) addressed the inefficiency in the use of surgical instruments due to the lack of optimized configurations in STs. The study proposes a probabilistic optimization model for configuring STs based on the probability of instrument usage. The model provides decision support for surgeons by presenting the optimized probability of tray usage and the associated costs of resterilization. The method incorporates both a heuristic and a meta-heuristic algorithm. The study highlights potential benefits for hospitals, such as reducing costs associated with the unnecessary opening of STs before a procedure. It includes a risk analysis to estimate confidence in the recommended solution.

Deshpande et al. (2023) discuss that surgeries account for over 60% of hospital costs, with 15% allocated to instruments. Despite this, less than 20% - 30% of provided instruments are actually used. In this study, the authors proposed a mathematical optimization model to configure STs with the aim of reducing costs associated with unused instruments. The implemented methodology resulted in a 54% reduction in unused instruments. When compared to expert recommendations, the model demonstrated higher efficiency (20% less excess) and fewer instances of missing instruments.

Toor et al. (2022a) evaluated the effectiveness of a personalized mathematical model in optimizing STs compared to traditional clinical review. Using 80 orthopedic procedures as a basis in a large academic hospital, they recorded instrument usage and observed processes in instrument reprocessing departments and the operating room to quantify associated costs. The proposed mathematical model resulted in a significant reduction of 47% in the number of instruments, leading to an annual savings of approximately \$34,440 compared to the clinical review, which achieved a 23% reduction. The combination of the model's information with the clinical review further reduced instruments by an additional 22%, resulting in savings of \$14,230.

Toor et al. (2022b) conducted an intervention study focused on standardizing STs for laparoscopy, with the goal of achieving cost savings. To achieve this, they developed a mathematical inventory optimization model to configure a standardized tray and determine its minimum stock quantity. The mathematical model took into account constraints such as the use of instruments from specific trays but did not consider the frequency of each procedure. There was a significant reduction in the number of instruments in the proposed STs (391 → 255), and an increase in surgeon satisfaction in the operating rooms.

Harris and Claudio (2021) addressed the issue of allocating surgical instruments to trays and assigning them to specific surgical procedures within the framework of the Tray Optimization Problem (TOP). The proposed mathematical model optimized the allocation of instruments in STs, taking into account factors such as current inventory, surgical demand, surgeon preferences, and human factors. In contrast to previous approaches that treated instrument requests as strict constraints, this proposed model introduced flexibility by incorporating expected rates of non-utilization through goal programming. The model improved expected instrument utilization rates compared to the baseline, reducing the number of unused instruments in various scenarios.

The literature-reviewed studies presented some points that still require attention, highlighting the need for advancements in research on the TOP. Firstly, few of these studies incorporated the frequency of procedure occurrences in the objective function, limiting the ability to adapt solutions to real demands. Additionally, many studies focused on a limited number of specialties, sometimes addressing only one, which can limit the applicability of the conclusions to a broader spectrum of surgical practices. The absence of metrics measuring the reduction in inefficiency, such as the excess of instruments before and after modeling, also represents a significant gap. On the other hand, our study comprehensively addresses these deficiencies. By considering the frequency of procedure occurrences in the objective function, we employed a multi-objective mathematical model and evaluated 38 specialties, aiming to provide a more holistic approach. Furthermore, our model optimizes the quantity of instruments in an optimal manner to cater to all specialties, providing a solution that enhances efficiency and reduces inefficiency. These improvements position our study as a significant contribution to advancing this topic in the healthcare domain.

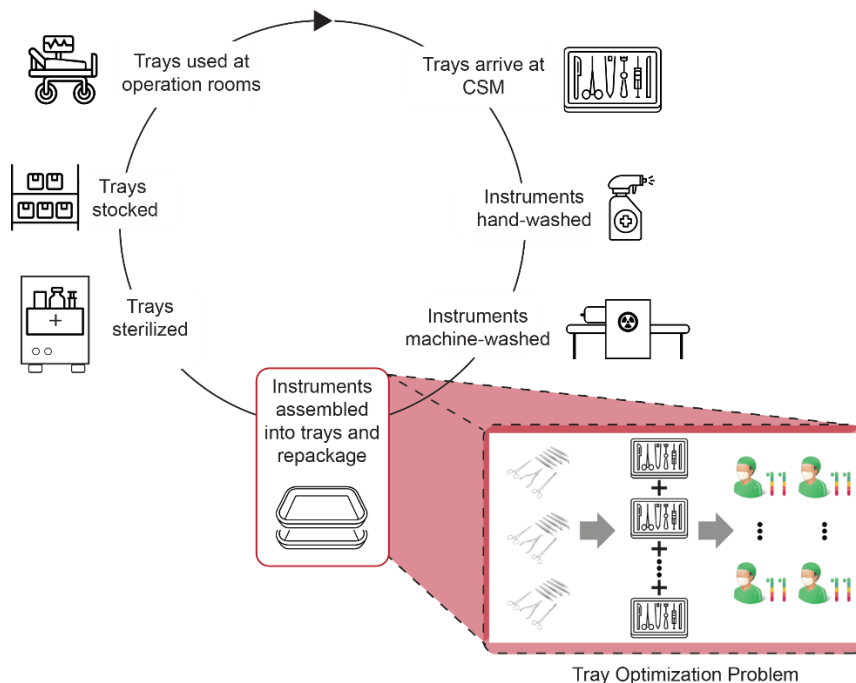
### **4.3. Method**

#### **4.3.1 Research design**

This study was carried out in a public hospital in Southern Brazil. The hospital serves more than 20 medical specialties and has 200 inward beds and approximately 800 employees. There are four operating rooms in the surgical center, and more than 1,000 procedures were performed between January and August 2022. The sterile unit stores around 700 surgical instruments, some organized in kits by procedure type (over 50 are offered), and others stored individually. Jointly, the surgical center and the center of sterilized materials comprise 80 employees. The research project was approved by the hospital's ethics committee (CAEE 50610221.3.0000.5329).

The CSSD plays a crucial role in the operational flow of the hospital, serving as the central point for receiving and processing all surgical instruments necessary for carrying out the 38 mapped surgical procedures. The process of assembling STs within the CSSD consists of seven steps. Upon arrival at the CSSD, a meticulous process begins to ensure the proper sterilization of instruments (steps 1 - 3). However, it is in step 4 that the actual assembly of the tray takes place, representing a crucial moment to ensure that all necessary instruments are ready for use. A specific challenge arises in the assembly of STs, which pertains to which and how many instruments will compose each ST. This type of problem is classified in the literature as the Tray Optimization Problem (TOP) and is typically associated with the development of a mathematical model. The CSSD workflow is presented in Figure 10.

Currently, the CSSD assembles 15 STs that cater to individual procedures and 3 BTs (basic tray 1, basic tray 2, and basic tray 3) that are configured to cover a broader range of procedures. The BTs are combined to meet the demand for the remaining procedures. The TOP addressed in this research focuses on finding an optimized solution that increases the efficiency of the BTs (i.e., quantity of instruments per tray) and reduces the instruments redundancy (i.e., excess instruments per tray) to adequately meet the needs of the 38 surgical procedures.



**Figure 1.** Process flow of Surgical Trays in the CSSD

### 4.3.2 Data

The hospital being studied has shared a historical record corresponding one year of surgeries. The data base contains information about all types of surgeries performed, along with their frequency and the instruments required. The frequency and demand for instruments associated with each surgery are available for consultation in the supplementary material. The BTs are currently composed of a total of 216 instruments, divided into three trays. The hospital combines surgical trays to meet the demand/ however, due to the lack of detailed information on which trays are combined, we consider that the BTs are always combined integrally, i.e., all the instruments contained in the three BTs are made available to the surgeon.

Four metrics pertaining to the composition of the new BTs will be discussed: (i) overall efficiency, (ii) number of instruments, (iii) % BT meeting procedure demand, and (iv) % BT exceeding procedure demand. The overall efficiency is defined as a combination of the total percentage of demand for instruments met and the total percentage of demand for instruments exceeded across all considered surgeries. The fulfilled demand (iii) refers to the quantity of instruments of any type necessary for the analyzed surgeries and present in the BTs. The metric, calculated for each surgery and averaged, is determined by the ratio of the total fulfilled demand to the total required demand for each type of instrument.

On the other hand, the exceeded demand (iv) represents the quantity of instruments of any type required for the analyzed surgeries and present beyond the requested quantity in the BTs. The calculation of (iv), calculated for each surgery and averaged, is determined by the ratio of the total demand exceeded for instruments of any type to the maximum demand that can be exceeded. Here, we adopt an upper bound for the total number of instruments that can be added to the surgical trays for each type of instrument. The upper bound is the maximum required demand for each type of instrument, considering all analyzed surgeries. Thus, the maximum demand that can be exceeded, for each type of instrument, is calculated as the difference between the upper bound and the required demand. Details about the mathematical model are presented in Section 3.3.

### 4.3.3 Mathematical Model

Let  $I$  be a set of instruments and  $J$  a set of surgeries. Each surgery  $j \in J$  is performed at a frequency  $f_j$  and requires a certain number of instruments  $i \in I$ , represented by  $d_{ij}$ . Furthermore, let  $K$  denote a collection of trays, wherein each one is characterized

by a designated capacity denoted as  $C$  (i.e. the upper limit on the number of instruments that can be accommodated within a given tray). The problem consists of assigning a set of instruments  $\underline{I} \subseteq I$  to a set of trays  $\underline{K} \subseteq K$ , which combined must fulfill the instruments' demand of each surgery as much as possible, with a low number of instruments in excess in all trays. The variables and parameters of the model are presented in Table 12.

**Table 2.** Parameters and decisions variables in the mathematical formulation

Notation	Description
<b>Parameters</b>	
$F$	Number of surgeries carried out for one year
$C$	Maximum tray capacity
$\alpha$	Coefficient to establish the lower bound of capacity to each tray $k$
$f_j$	Number of surgeries of type $j$ carried out for one year
$a_i$	Maximum quantity of instrument type $i$ demanded over all surgeries
$d_{ij}$	Demand for instrument type $i$ by surgery $j$
$y_{lb}$	The minimum number of trays to be formed
$y_{ub}$	The maximum number of trays to be formed
<b>Variables</b>	
$y_{kj}$	1 if tray $k$ is used, 0 otherwise
$x_{ik}$	Quantity of instruments type $i$ assigned to tray $k$
$e_{ij}$	Quantity of instruments type $i$ required by surgery $j$ that have not been fulfilled
$n_{ij}$	Quantity of instruments type $i$ in excess to what is demanded by surgery $j$
$a_j$	Percentage of demand fulfilled for instruments of all types required by surgery $j$
$b_j$	Percentage of demand exceeded for instruments of all types required by surgery $j$



Given the previous definitions, the problem under study may be formulated as follows.

$$\text{Max } \frac{\sum_{j \in J} \left[ f_j * \frac{(1 - b_j) + a_j}{2} \right]}{F} \quad (1)$$

$$e_{ij} \geq d_{ij} - \sum_{k \in K} x_{ik} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (2)$$

$$n_{ij} \geq \sum_{k \in K} x_{ik} - d_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (3)$$

$$a_j = \frac{\sum_{i \in I} (d_{ij} - e_{ij})}{\sum_{i \in I} d_{ij}} \quad \forall j \in J \quad (4)$$

$$b_j = \frac{\sum_{i \in I} n_{ij}}{\sum_{i \in I} (a_i - d_{ij})} \quad \forall j \in J \quad (5)$$

$$y_k \cdot \alpha \cdot C \leq \sum_{i \in I} x_{ik} \leq y_k \cdot C \quad \forall k \in K \quad (6)$$

$$y_{lb} \leq \sum_{k \in K} y_k \leq y_{ub} \quad (7)$$

$$y_k \in \{0, 1\} \quad \forall k \in K \quad (8)$$

$$x_{ik} \in Z^+ \quad \forall i \in I, k \in K \quad (9)$$

$$e_{ij}, n_{ij} \in Z^+ \quad \forall i \in I, j \in J \quad (10)$$

$$a_j, b_j \in R^+ \quad \forall j \in J \quad (11)$$

The objective function (1) aims to maximize the overall efficiency of the instrument trays, considering the frequency of surgeries and prioritizing the efficiency of more frequent surgeries. Efficiency is defined as a weighted combination of the percentage of demand fulfilled ( $a_j$ ) and the percentage of demand exceeded ( $b_j$ ) for each surgery, drawing from the concept of cell design group efficiency (Greene and Sadowski, 1984). We parallel instrument trays with production cells, aiming to accommodate the surgery's instruments demand as much as possible within the trays and as little as possible outside them, i.e., through individual instruments or small instrument kits. This approach seeks to optimize the allocation of instruments, aligning with the efficiency principles of cell layout design concepts.

The set of constraints (2), which allows the calculation of variables  $e_{ij}$ , refers to the total number of instruments type  $i$  demanded by surgery  $j$  that are not allocated to the

trays. In opposition, the set of constraints (3), which allows the calculation of variables  $n_{ij}$ , refers to the total number of instruments type  $i$  demanded by surgery  $j$  that are allocated to the trays in excess to what is required by the surgery. Variables  $e_{ij}$  and  $n_{ij}$  are instrumental in computing the overall percentage of fulfilled ( $a_j$ ) and exceeded instruments ( $b_j$ ) for each surgery. Variables  $a_j$  are calculated using the set of constraints (4) and variables  $b_j$  by the set of constraints (5).

The set of constraints (6) ensures that instruments are allocated for a tray only if the tray is being used for any surgery, and, at the same time, sets a lower and upper bound for the number of instruments allocated in each tray. The upper bound is defined as the tray's capacity, while the lower bound is a percentual ( $\alpha \in [0,1]$ ) of the maximum capacity. Similarly, constraints (7) define a lower and upper bound for the number of used trays, limiting the total number of trays formed. Finally, constraints (8)-(11) define the variables and parameters' domains. Constraint (8) defines  $Y$  as a binary variable, constraint (9)-(10) as positive integral variables (i.e.  $Z^+$ ), and constraint (11) defines variables  $a_j$  e  $b_j$  as positive real variables (i.e.  $R^+$ ) contained in the interval  $[0,1]$ .

#### 4.4. Results and Discussion

The proposed mathematical model was implemented using the Julia programming language, through the JuMP package. The model was solved using Gurobi 10.1.0. In the following subsection, we provide a direct comparison between the results of the mathematical model and the current hospital scenario.

##### 4.4.1 Base Scenario

Three configurations for basic trays (BT) were generated based on the mathematical model. These configurations underwent a comparative analysis with the current BTs configuration employed by the hospital. Utilizing the existing configuration as a reference, two parameters were established for the mathematical model: (i) the tray capacity ( $C$ ) was defined as 89 instruments (i.e., the maximum instrument capacity within the three BTs currently operational at the hospital), and (ii) the maximum instrument allocation per tray was set at half of its full capacity (i.e., an approximation of the low-capacity basic tray currently in use by the hospital). Additionally, for direct alignment with the hospital's ongoing operations, the minimum ( $y_{lb}$ ) and maximum ( $y_{ub}$ ) number of BTs in use were stipulated as three trays.

Table 13 provides a comprehensive analysis of the current configuration of BTs. To ensure consistency in instrument identification, a specific coding system was chosen, using the format 'I + instrument number' (e.g., I1, I2, etc.). It is noted that the quantity of instruments in each BT varies. Regarding the utilization of instruments in each BT for the 38 procedures, BT1 showed the highest utilization percentage (17.04%), followed by BT2 (14.65%) and BT3 (13.22%). This indicates that, even with fewer instruments in the tray, BT1 demonstrated higher efficiency in meeting the demand for procedures compared to the other two BTs.

**Table 3.** Current composition of Basic Trays

Instruments	BT1	BT2	BT3
I1	2	2	1
I2	2	1	2
I3	0	1	0
I4	1	0	4
I5	2	0	0
⋮	⋮	⋮	⋮
I138	0	1	1
I139	1	0	0
I140	2	0	1
I141	2	1	2
I142	1	4	1
Total	46	81	89

The performance of the BTs was assessed considering the four metrics presented in section 3.2. The objective function in eq. (1) seeks to maximize overall efficiency. To achieve this, a weighting is applied using the procedure occurrence frequency ( $F$ ), the percentage of instruments meeting demand, and the percentage of instruments exceeding demand. The current overall efficiency of BTs assembled by CSSD and distributed to surgical centers is 58.40% (with a total of 216 surgical instruments). The parameter  $a_j$  resulted in 73.62%, i.e., the percentage of instruments, considering the three basic trays, that meet the demand for the 38 surgical procedures is 73.62%. On the other hand, the percentage of instruments exceeding demand ( $b_j$ ), with a result of 53.66%, indicates that the BTs have more instruments than effectively used by surgeons. These performance results are summarized in Table 14.

**Table 4.** Performance of current BT scenario

Metric	Value
Overall efficiency	58.40%
Number of instruments	216
BT meets the demand of procedures - $a_j$	73.62%
BT exceeds the demand of procedures - $b_j$	53.66%

As previously mentioned, the mathematical model was parameterized with three surgical trays, which is the quantity currently used by the hospital. The number of instruments assigned to each BT was 45 instruments, totaling 135 surgical instruments to meet the demand for the same 38 surgical procedures. Instruments that were not grouped into any of the three trays are considered standalone instruments that may or may not be requested by the surgeon, depending on the surgery. In this regard, it is noteworthy that the mathematical model considers the combination of the three BTs to meet the demand for procedures. Table 15 presents the composition of the BTs obtained through the mathematical model.

**Table 5.** Composition of BTs generated by the mathematical model

Instruments	BT1	BT2	BT3
I1	1	0	9
I2	0	4	0
I3	1	4	0
I4	2	1	1
I5	1	2	9
⋮	⋮	⋮	⋮
I138	0	0	1
I139	3	0	1
I140	2	2	1
I141	0	1	0
I142	1	2	0
Total	45	45	45

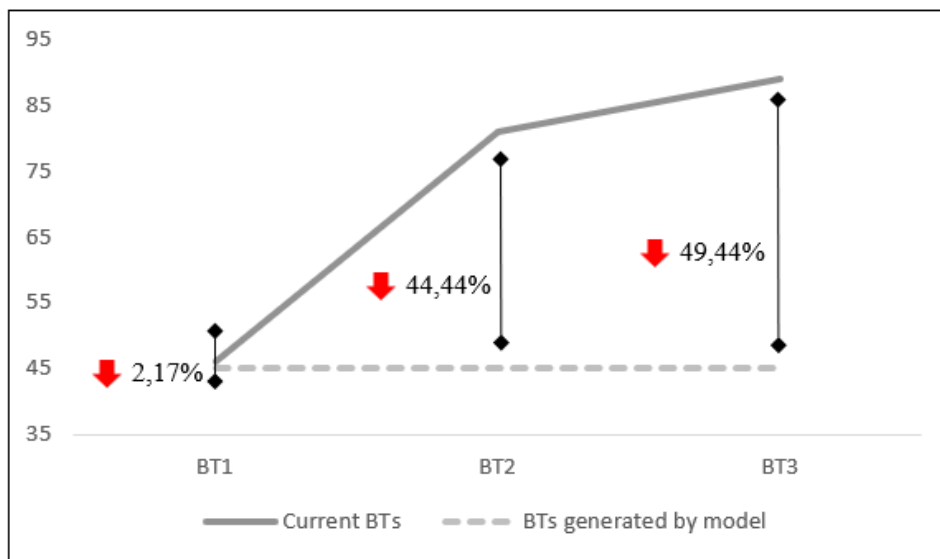
Regarding the performance of the BTs generated by the mathematical model, improvements are observed in all analyzed metrics. Even with a smaller number of instruments per tray, the overall efficiency increased to 76.12%, while the instrument demand met ( $a_j$ ) for procedures was 77.46%. The significant improvement, in addition to the lower number of instruments in the BTs, was in the reduction of the quantity of excess instruments ( $b_j$ ), decreasing from 53.66% to 24.63%. Table 16 presents the results generated by the model considering new BTs configuration.

**Table 6.** Performance of optimized BTs

Metric	Value
Overall efficiency	76.12%
Number of instruments	135
BT meets the demand of procedures - $a_j$	77.46%
BT exceeds the demand of procedures - $b_j$	24.63%

Comparing the current BTs with those generated by the proposed model, a significant reduction in the number of instruments in each BT is evident. The overall reduction in surgical instruments was approximately 37.50% (from 216 to 135). This reduction may

bring benefits to the hospital across various dimensions, such as cost savings in instrument sterilization, improved inventory organization, enhancements related to the reduced weight of trays (particularly during transportation), better organization of instruments within the tray (preventing nurse technicians and surgeons from wasting time searching for instruments), among other advantages. While these aspects were not specifically addressed in this study, numerous research studies have demonstrated operational and financial gains resulting from the reduction of instruments in surgical trays (Cichos et al., 2017; Yoon et al., 2019; Capra et al., 2019; Toor et al., 2022b). Figure 11 illustrates the magnitude of the reduction achieved in the analyzed BTs.



**Figure 2.** Reduction in the number of surgical instruments in each BT

In this study, we developed a customized mathematical model to maximize the efficiency of meeting the demand for 38 surgical procedures using three basic trays. The number of trays is a crucial factor for surgeons, clinical, and operational staff (Dobson et al., 2015; Capra et al., 2019). The results reported in Table 5 show that, considering the analyzed metrics, storing fewer instruments in the BTs would result in better performance in meeting the demand for instruments required for procedures performed in the hospital. From a practical standpoint, trays with redundant instruments can affect various hospital-related aspects, with the most critical ones having a direct impact on the patient (Van Meter et al., 2016; Looner et al., 2021). Consequently, reassessing the tray inventory is crucial and can prevent errors in tray assembly from being propagated further (Ahmadi et al., 2019). However, optimizing the inventory of surgical instruments requires a high level of coordination to ensure success. Smaller quantities of trays and instruments could be achieved by aligning surgeons' needs, instrument availability, and procedure frequency periodically.

Several studies report the high costs associated with the processing and reprocessing of hospital materials (Morris et al., 2014; Cichos et al., 2017; Yalamanchi et al., 2022), emphasizing that these costs can compromise the materials department budget if not controlled (Toor et al., 2022a). Cost savings in these operations could be beneficial for both hospitals and patients (Capra et al., 2019). Although this study does not aim to demonstrate the financial impact of the achieved efficiency increase, it is implicit that reaching this goal would result in cost reduction for the hospital. The implementation of standardized BTs in terms of instrument quantity would not incur any direct expenses and would enable the recovery of many surgical instruments for reuse.

Another indirect benefit of tray optimization relates to the flow of patients in the operating rooms (ORs). Adjusting the practice of procedure planning and scheduling becomes possible when there is an understanding of inventory capacity (Ahmadi et al., 2019). Zhang et al. (2009) demonstrated how an enhanced allocation of capacity for specialties, combined with the suitability of surgical trays for procedure needs, reduced patient length-of-stay in the OR. Such reduction and the increase in OR utilization impact not only patient flow but also financial gains for hospitals (Cardoen et al., 2015).

The efficiency and satisfaction of professionals are other aspects positively impacted by the optimization of STs. Studies have reported efficiency gains in operating rooms (Greenberg et al., 2012; Humphries et al., 2018), tray assembly (Fogliatto et al., 2018; Belhouari et al., 2023), and professional satisfaction (Capra et al., 2019; Harris and Claudio, 2021). These findings align with the results obtained through the customized mathematical model presented in this study, as it is understood that the improvement in the demonstrated metrics would also reflect gains in the operational dimension.

Another likely benefit of optimizing STs is the reduction of physical work required by teams operating in ORs and CSSD personnel when handling lighter trays. Trays used in a surgical procedure can be heavy, ranging from 13.2 kg to 16.8 kg (Farrelly et al., 2017). Reducing the weight of STs has a direct impact on alleviating the physical workload for the professional handling STs through a workday. Such reduced weight would result in less repetitive physical work for perioperative services teams and surgical technicians.

#### **4.5. Conclusion**

In this article, we developed a solution approach for the Tray Optimization Problem (TOP). In TOP, the composition of instrument trays, their assignment to surgeries, and the number of trays are simultaneously determined. The customized mathematical

model developed in this study takes into account the analysis of the demand for surgical instruments for 38 procedures, which may require not only specific trays, but also basic trays assembled to cover a broader range of specialties.

Our findings indicate the need for periodic reviews of all STs, especially BTs, which have a broader scope and may require instrument modifications more frequently. From a theoretical perspective, the result generated by the mathematical model considered a set of constraints aimed at ensuring that BTs efficiently meet the demand for surgeries for each procedure. The reduction in the number of instruments (approximately 37.50%), the increase in overall efficiency (from 58.40% to 76.12%), and the reduction of excess instruments/redundant instruments in BTs (from 53.66% to 24.63%) demonstrate that our approach alone would yield gains for the hospital in various dimensions. The optimization of BTs could be even more positive if the developed mathematical model were combined with expert evaluations regarding the use of surgical instruments. From a practical standpoint, the results suggest that less time would be required to assemble the STs, freeing the CSSD team for other tasks. Similarly, a smaller number of instruments per BT would likely result in fewer instruments to count during and after surgeries, allowing the OR team to focus on the patient's needs.

This study presents several limitations. Firstly, the model was parameterized with the quantity of BTs set at three, which is the number used by the analyzed hospital. This, to some extent, limits the optimization. Additionally, the quantity of instruments comprising each BT may not fully reflect the current reality of the hospital, as the documents provided with the quantities, according to the CSSD manager, were not updated for at least three months. Another limitation is the absence of monetary quantification resulting from the optimization of BTs. Although the study found new optimized configurations of BTs through the model, assigning a monetary value was not possible due to a lack of information regarding the purchase of instruments/material processing by the hospital. Future research can explore various directions. Creating diverse scenarios for optimizing STs using the approach presented in this study may reveal further opportunities for improvement. Additionally, characterizing cost savings and assessing the impact on all aspects of procedure time, sterilization, assembly, and transportation could enhance the robustness of result presentations.

## References

- Ahmadi E, Masel DT, Metcalf AY, Schuller K. Inventory management of surgical supplies and sterile instruments in hospitals: a literature review. *Health Syst.* 2019;8(2):134–51. <https://doi.org/10.1080/20476965.2018.1496875>
- Ahmadi, E., Masel, D. T., & Hostetler, S. (2023). A Data-Driven Decision-Making Model for Configuring Surgical Trays Based on the Likelihood of Instrument Usages. *Mathematics*, 11(9), 2219.
- Ahmadi, E., Masel, D. T., Schwerha, D., & Hostetler, S. (2019). A bi-objective optimization approach for configuring surgical trays with ergonomic risk consideration. *IIE Transactions on Healthcare Systems Engineering*, 9(4), 327-341.
- Belhouari, S., Toor, J., Abbas, A., Lex, J. R., Mercier, M. R., & Larouche, J. (2023). Optimizing spine surgery instrument trays to immediately increase efficiency and reduce costs in the operating room. *North American Spine Society Journal (NASSJ)*, 14, 100208.
- Canadian Institute of Health Information. What are hospitals spending on? (2020). Available: <https://www.cihi.ca/en/what-are-hospitals-spending-on> (accessed 2023 Nov. 4).
- Capra, R., Bini, S. A., Bowden, D. E., Etter, K., Callahan, M., Smith, R. T., & Vail, T. P. (2019). Implementing a perioperative efficiency initiative for orthopedic surgery instrumentation at an academic center: A comparative before-and-after study. *Medicine*, 98(7).
- Cardoen, B., Beliën, J., & Vanhoucke, M. (2015). On the design of custom packs: grouping of medical disposable items for surgeries. *International Journal of Production Research*, 53(24), 7343-7359.
- Cichos, K. H., Linsky, P. L., Wei, B., Minnich, D. J., & Cerfolio, R. J. (2017). Cost savings of standardization of thoracic surgical instruments: the process of lean. *The Annals of thoracic surgery*, 104(6), 1889-1895.
- Deshpande, V., Mundru, N., Rath, S., Knowles, M., Rowe, D., & Wood, B. C. (2023). Data-Driven Surgical Tray Optimization to Improve Operating Room Efficiency. *Operations Research*.
- Dobson, G., Seidmann, A., Tilson, V., & Froix, A. (2015). Configuring surgical instrument trays to reduce costs. *IIE transactions on healthcare systems engineering*, 5(4), 225-237.
- Dollevoet, T., van Essen, J. T., & Glorie, K. M. (2018). Solution methods for the tray optimization problem. *European Journal of Operational Research*, 271(3), 1070-1084.
- Farrelly, J. S., Clemons, C., Witkins, S., Hall, W., Christison-Lagay, E. R., Ozgediz, D. E., ... & Caty, M. G. (2017). Surgical tray optimization as a simple means to decrease perioperative costs. *Journal of Surgical Research*, 220, 320-326.
- Florijn, E. P. (2008). Optimisation of the distribution of surgical instruments over trays: cost effectiveness and quality improvement of an operating theatre (Master's thesis, University of Twente).
- Fogliatto FS, Anzanello MJ, Tortorella GL, Schneider DS, Pereira CG, Schaan BD. A six sigma approach to analyze time-to-assembly variance of surgical trays in a sterile services department. *J Healthc Qual.* 2018;40(3):e46–53. <https://doi.org/10.1097/JHQ.000000000000078>.
- Fogliatto, F. S., Anzanello, M. J., Tonetto, L. M., Schneider, D. S., & Muller Magalhães, A. M. (2020). Lean-healthcare approach to reduce costs in a sterilization plant based on surgical tray rationalization. *Production Planning & Control*, 31(6), 483-495.
- Greene, T. J., & Sadowski, R. P. (1984). A review of cellular manufacturing assumptions, advantages and design techniques. *Journal of Operations Management*, 4(2), 85-97.



Greenberg JA, Wylie B, Robinson JN. A pilot study to assess the adequacy of the Brigham 20 kit for cesarean delivery. *Int J Gynecol Obstet.* 2012;117(2): 157–9. <https://doi.org/10.1016/j.ijgo.2011.12.007>.

Gurobi Optimization LLC. Gurobi optimizer reference manual. 2020. <http://www.gurobi.com>

Harris, S., & Claudio, D. (2021). A Goal Programming Approach to the Tray Optimization Problem. In IIE Annual Conference. Proceedings (pp. 680-685). Institute of Industrial and Systems Engineers (IISE).

Harvey L, Slocum P, Heft J, Van Meter M, Lovett B, Adam R. Gynecologic surgery instrument trays: leveraging surgeon knowledge to improve supply chain efficiency. *J Gynecol Surg.* 2017a;33(5):180–3. <https://doi.org/10.1089/gyn.2017.0039>.

Humphries LS, Shenaq DS, Teven CM, Park JE, Song DH. (2018). SSET project: cost-effectiveness analysis of surgical specialty emergency trays in the emergency department. *Plast Reconstr Surg Glob Open.* 2018;6(1). <https://doi.org/10.1097/GOX.0000000000001591>.

Koyle, M. A., AlQarni, N., Odeh, R., Butt, H., Alkahtani, M. M., Konstant, L., ... & Baker, G. R. (2018). Reduction and standardization of surgical instruments in pediatric inguinal hernia repair. *Journal of pediatric urology*, 14(1), 20-24.

Lonner, J. H., Goh, G. S., Sommer, K., Niggeman, G., Levicoff, E. A., Vernace, J. V., & Good, R. P. (2021). Minimizing surgical instrument burden increases operating room efficiency and reduces perioperative costs in total joint arthroplasty. *The Journal of Arthroplasty*, 36(6), 1857-1863.

Macario A, Vitez T, Dunn B et al. Where are the costs in perioperative care? Analysis of hospital costs and charges for inpatient surgical care. *Anesthesiology* 1995;83:1138-44.

Malone, E., Baldwin, J., Richman, J., Lancaster, R., Krontiras, H., & Parker, C. (2019). The impact of breast lumpectomy tray utilization on cost savings. *Journal of Surgical Research*, 233, 32-35.

Marchand, K. B., Taylor, K. B., Salem, H. S., Mont, M. A., & Marchand, R. C. (2020). Surgical tray optimization and efficiency: the impact of a novel sealed sterile container and instrument tray technology. *Surg Technol Int*, 37, 349-355.

Mhlaba, J. M., Stockert, E. W., Coronel, M., & Langerman, A. J. (2015). Surgical instrumentation: the true cost of instrument trays and a potential strategy for optimization. *J Hosp Adm*, 4(6), 82-88.

Morris, L. F., Arenas, M. A. R., Cerny, J., Berger, J. S., Borrer, C. M., Ong, M., ... & Perrier, N. D. (2014). Streamlining variability in hospital charges for standard thyroidectomy: developing a strategy to decrease waste. *Surgery*, 156(6), 1441-1449.

Olivere, L. A., Hill, I. T., Thomas, S. M., Codd, P. J., & Rosenberger, L. H. (2021). Radiofrequency identification track for tray optimization: an instrument utilization pilot study in surgical oncology. *Journal of Surgical Research*, 264, 490-498.

Reymondon, F., Pellet, B., & Marcon, E. (2008). Optimization of hospital sterilization costs proposing new grouping choices of medical devices into packages. *International Journal of Production Economics*, 112(1), 326-335.

Stockert E, Langerman A. Assessing the magnitude and costs of intraoperative inefficiencies attributable to surgical instrument trays. *J Am Coll Surg* 2014;219:646-55.

Stockert, E. W., & Langerman, A. (2014). Assessing the magnitude and costs of intraoperative inefficiencies attributable to surgical instrument trays. *Journal of the American College of Surgeons*, 219(4), 646-655.

Toor, J., Bhangu, A., Wolfstadt, J., Bassi, G., Chung, S., Rampersaud, R., ... & Koyle, M. (2022a). Optimizing the surgical instrument tray to immediately increase efficiency and lower costs in the operating room. *Canadian Journal of Surgery*, 65(2), E275.

Toor, J., Shah, A., Abbas, A., Du, J. T., & Kennedy, E. (2022b). Standardization of laparoscopic trays using an inventory optimization model to produce immediate cost savings and efficiency gains. *Plos one*, 17(12), e0276377.

Van de Klundert, J., Muls, P., & Schadd, M. (2008). Optimizing sterilization logistics in hospitals. *Health care management science*, 11, 23-33.

Van Meter MM, Adam RA. Costs associated with instrument sterilization in gynecologic surgery. *Am J Obstet Gynecol* 2016;215:652.e1-52.e5.

Yalamanchi, P., Miller, J. E., Prout, S., Matthews, E., Spagnol, C., Harrington, S., ... & Malloy, K. M. (2022). Association of operating room costs with head and neck surgical instrumentation optimization: a surgeon-led quality improvement initiative. *JAMA Otolaryngology–Head & Neck Surgery*, 148(5), 402-407.

Yoon S, Zygourakis CC, Seaman J, Zhu M, Ahmed AK, Kliot T, Antrum S, Goldberg AN. Implementation and impact of a hospital-wide instrument set review: early experiences at a multisite tertiary care academic institution. *Am J Med Qual*. 2019;34(1):67–73. <https://doi.org/10.1177/1062860618783261>.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Duas preocupações principais desafiam a indústria da saúde em todo o mundo (Ahmadi et al., 2019): redução dos investimentos públicos e o aumento da demanda por cuidados. Em tais cenários, é particularmente aconselhável realizar esforços de gestão para aprimorar os processos de saúde, visando aumentar a eficiência e fortalecer a resiliência em nível sistêmico. Muitos pesquisadores têm visto as práticas do Lean (filosofia de melhoria contínua surgida no setor industrial) como um caminho que pode ser seguido para, ao mesmo tempo, (i) reduzir a variabilidade dos processos e (ii) responder à variabilidade inevitável. Isso gera um questionamento sobre a aplicabilidade de alguns pressupostos preconizados pelo Lean em um cenário de alta imprevisibilidade, como o setor da saúde.

Nesse sentido, esta tese buscou explorar os campos de conhecimento (i) e (ii), e fornecer abordagens que pudessem contribuir para uma melhoria holística no campo de gestão de operações no setor da saúde.

Inicialmente, foram identificadas e classificadas as abordagens usadas para a racionalização de BCs. Foi realizada uma revisão de escopo da literatura que mapeou as evidências mais recentes sobre a gestão de BCs. 48 artigos foram analisados e agrupados em três principais abordagens: Análise de Especialistas (AE), Práticas Lean (PL) e Programação Matemática (PM). Os achados desses estudos demonstraram o impacto da redução de instrumentos cirúrgicos em bandejas em duas dimensões: operacional e econômica. Além disso, foi possível identificar as principais técnicas utilizadas na otimização de BCs. Demonstrou-se, através dos resultados das pesquisas, que quando existe a combinação de técnicas e abordagens (AE, PL e/ou PM), os hospitais podem obter benefícios em muitas direções. Para desenvolver uma abordagem que contemplasse o campo de conhecimento (i), foi utilizada a abordagem de PM. O modelo matemático levou em consideração a análise da demanda por instrumentos cirúrgicos para 38 procedimentos, que podem requerer não apenas bandejas específicas, mas também bandejas básicas (do inglês, *Basic Trays* – BTs) montadas para cobrir uma gama mais ampla de especialidades. Identificou-se a necessidade de revisões periódicas mais frequentes especialmente em bandejas de escopo mais amplo, que é o caso das BTs. Como resultado, se obteve uma redução significativa na quantidade de instrumentos que compõem as BTs do hospital, tendo reflexo na redução da variabilidade, uma vez que o modelo indica que a eficiência do uso das bandejas, e conseqüentemente dos instrumentos aumentaria cerca de 18%.

Essa investigação inicial acerca das abordagens e técnicas utilizadas para a racionalização de bandejas cirúrgicas, revelou que alguns aspectos, como a falta de comunicação e a falta de padronização, podem refletir em erros na montagem de BCs, podendo interromper a distribuição de BCs às unidades consumidoras.

Diante disso, foram identificados os principais problemas que incidem sobre o processo de montagem de BCs. Esses problemas estão relacionados ao CME (unidade que monta as BCS) e ao centro cirúrgico e centro obstétrico (principais unidades que as utilizam). Uma nova abordagem foi desenvolvida para o design de HCs, utilizando Análise de Redes Sociais (SNA) para demonstrar a complexidade do sistema e fornecer visibilidade a caminhos alternativos para a resolução de cada problema. A SNA destacou a complexidade das HCs dos cinco problemas identificados, revelando o papel de cada profissional na HC de cada problema. Múltiplos caminhos para solucionar problemas envolvem pessoas fora da estrutura tradicional das HCs. A rede de múltiplas camadas permite investigar a contribuição individual em sistemas complexos, onde o melhor desempenho nem sempre está ligado a um ator específico. Conhecimento prévio das características dos atores é crucial na formação de equipes eficazes. As premissas lineares desafiadas pela SNA não são intrinsecamente incorretas, sendo adequadas para sistemas mais simples.

Em resumo, esta pesquisa mostra uma ampla investigação sobre o tópico de racionalização/otimização de bandejas cirúrgicas e suas ramificações, fornecendo contribuições para a gestão de operações de hospitais e, sobretudo, para os interessados nos processos que permeiam os CMEs. Através desta pesquisa, essa tese de doutorado responde as questões de pesquisa propostas e o objetivo geral, que foi de fornecer contribuições teórico-prática no campo da gestão de operações em um CME de um hospital público. Os resultados trazem uma contribuição adicional às pesquisas anteriores sobre o tema e constituem uma peça única e original que oferece contribuições relevantes para acadêmicos, pesquisadores e gestores da área da saúde.

Este estudo apresentou limitações que podem ser abordadas por pesquisas futuras. Em primeiro lugar, esta tese foi desenvolvida considerando o cenário de apenas um hospital, que foi usado como base para o desenvolvimento das abordagens propostas. No entanto, comparações com outros hospitais, de portes e regiões distintas, enriqueceria os resultados e proporcionaria mais *insights*. Além disso, a demonstração do impacto financeiro, que seria um reflexo natural das abordagens propostas neste estudo, não foi investigada. Portanto, estudos futuros poderiam caminhar nessa

direção, explorando as nuances das abordagens propostas nesta pesquisa e combinando com análises exploratórias do contexto econômico-financeiro.