

ABORDAGENS DE OTIMIZAÇÃO PARA AGRUPAMENTO DE ITENS PARA A FORMAÇÃO DE KITS CIRÚRGICOS

Shayane da Silva Carvalho
Maristela Oliveira dos Santos

Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação (ICMC), Universidade de São Paulo
Av. Trabalhador São-carlense, 400 - Centro, CEP 13566-590, São Carlos - SP.

shayanecarvalho@usp.br
mari@icmc.usp.br

Mariá Cristina Vasconcelos Nascimento

Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA)

Pç. Marechal Eduardo Gomes, 50 - Vila das Acácias, CEP 12228-900, São José dos Campos - SP.

mariah@ita.br

RESUMO

Neste artigo é proposto o agrupamento de itens para a formação de kits cirúrgicos, passíveis de compartilhamento entre diferentes tipos de procedimentos. Os itens são organizados em kits cirúrgicos que devem ser montados e finalizados pelo setor responsável antes de cada procedimento e, após a realização, os itens não utilizados devem ser retornados ao estoque para uso futuro. Porém, um problema enfrentado pelos hospitais é determinar maneiras de melhorar a eficiência da montagem dos kits, diminuindo o retorno dos itens não utilizados ao estoque. Pretendemos identificar o relacionamento entre itens e procedimentos com o uso de um *framework* para a enumeração de bicliques maximais disponível na literatura. Além disso, propomos uma heurística construtiva para preencher os kits cirúrgicos com as quantidades de itens necessárias para o atendimento da demanda. Para testar as abordagens de solução foram utilizados dados reais fornecidos por um hospital da Cidade de São Carlos, SP.

PALAVRAS CHAVE. Kits Cirúrgicos, Bicliques Maximais, Heurística Construtiva.

Tópicos: OC – Otimização Combinatória, SA – PO na Área de Saúde

ABSTRACT

This article proposes the grouping of items to form advanced kits, which can be shared between different types of procedures. Items are organized in sanitary kits that must be assembled and finalized by the responsible sector before each procedure and, after completion, unused items must be returned to stock for future use. However, a problem faced by hospitals is determining ways to improve the efficiency of kitting, visiting and returning unused items to inventory. We intend to identify the relationship between items and procedures using a framework for the enumeration of maximum bicliques available in the literature. In addition, we propose a constructive heuristic to fill the emergency kits with the necessary items to meet the demand. To test the solution approaches, real data provided by a hospital in the city of São Carlos, SP, were used.

KEYWORDS. Surgical Kits. Maximal Bicliques. Constructive Heuristic.

Topics: OC - Combinatorial Optimization, SA - OR in Health Sector

1. Introdução

Os hospitais são as entidades que mais consomem os recursos destinados à saúde e, o setor cirúrgico é a unidade que gera os maiores gastos para a receita de um hospital [Cardoen et al., 2015]. Segundo Ahmadi et al. [2019b], a correta administração de suprimentos cirúrgicos nas salas de cirurgias pode reduzir de forma significativa os custos hospitalares. Neste sentido, alguns trabalhos da literatura apresentam abordagens matemáticas para redução de custos associados a materiais cirúrgicos, dentre eles, citamos os seguintes: Dobson et al. [2015], John-Baptiste et al. [2016], Dollevoet et al. [2018], Ahmadi et al. [2019b], [Ahmadi et al., 2019a], Nast e Swords [2019] e Yalamanchi et al. [2022].

A prática mais comum dos hospitais é receber insumos esterilizados de uso individual e atribuí-los aos procedimentos cirúrgicos, de maneira que, antes da realização da cirurgia, sejam selecionados, preparados e organizados, um a um, pelo enfermeiro responsável [Nunes et al., 2018]. Para melhorar o processo de organização de itens, muitos hospitais utilizam os pacotes/kits personalizados, embalagens únicas, montadas previamente e compostas por todos os itens necessários para o procedimento. O uso de kits cirúrgicos personalizados em hospitais traz muitos benefícios, como pode ser visto nos trabalhos: Baines et al. [2001], Mattos et al. [2007], Paranaguá et al. [2009], Freitas [2016], Oliveira [2017]. Alguns trabalhos utilizam abordagens como modelos matemáticos para a configuração de pacotes compostos por instrumentos, como exemplo, Reymondon et al. [2006], Reymondon et al. [2008], Alves et al. [2016], insumos descartáveis, Cardoen et al. [2015], insumos hospitalares e medicamentos, Dias et al. [2021].

Neste trabalho é proposta a configuração de kits compostos por insumos e medicamentos, sendo estes, passíveis de utilização em diversos tipos de procedimentos. Assim, ao utilizar esses novos kits, espera-se aumentar o controle do estoque e também diminuir o tempo de montagem destes, minimizando os custos operacionais dos hospitais e os desperdícios. Um requisito importante do problema de pesquisa é que os kits devem ser compartilhados entre os procedimentos, atendendo as necessidades em quantidade e tipo de item para cada cirurgia. Assim, cada kit configurado deve ser composto por itens que estão nas interseções entre os procedimentos.

Para a obtenção dos kits cirúrgicos com nível de compartilhamento entre os procedimentos, será utilizada uma abordagem de agrupamento de dados bipartidos, conhecida como enumeração de bicliques maximais. Esta abordagem permite integrar dados considerando o relacionamento entre pares de dados heterogêneos.

O problema da enumeração de bicliques maximais possui diversas aplicações como, por exemplo, na identificação de associações comuns entre conjuntos de genes, descoberta de padrões de pesquisa epidemiológica, integração de dados genômicos funcionais [Zhang et al., 2008]. Mukherjee e Tirthapura [2016] citam ainda aplicações em mineração de dados da *web*, análise de redes sociais, encontro de correlações em banco de dados, assim como na compressão de dados, dentre outros.

Nesta pesquisa, os itens e os procedimentos cirúrgicos são representados como vértices de um grafo bipartido. Para enumeração das bicliques maximais, é utilizado o algoritmo iMBEA, que é uma implementação melhorada do algoritmo intitulado Maximal Biclique Enumeration Algorithm (MBEA). Ambos estão disponibilizados publicamente no *framework* Biclique, proposto por Lu et al. [2020]. Além disso, foi desenvolvida uma heurística construtiva para determinar as quantidades de cada tipo de item no kit cirúrgico para atender as necessidades dos procedimentos.

Este trabalho é organizado da seguinte forma: na Seção 2 é feita a descrição do problema de pesquisa, a Seção 3 apresenta as abordagens de solução utilizadas e na Seção 4 são mostrados os experimentos computacionais realizados. Por fim, a Seção 5 traz as conclusões obtidas.

2. Descrição do Problema

O problema proposto é a configuração de kits ou sub-kits compostos por itens médicos necessários para diversos tipos de procedimentos cirúrgicos. Cada kit deve conter os tipos e quantidades de itens essenciais para a realização diferentes cirurgias, de maneira que estes sejam utilizados com maior aproveitamento possível. Para isto, devem ser obtidos grupos de itens para compor kits mais genéricos, que possam ser compartilhados entre muitos tipos de cirurgias de procedimentos cirúrgicos distintos. Assim, considere um conjunto I de itens médicos (insumos e medicamentos) indexados por i , e um conjunto J de procedimentos cirúrgicos, indexados por j . Pretende-se configurar kits compostos por diversos tipos de $i \in I$ itens, que possam ser de uso comum entre os procedimentos cirúrgicos.

Para proporcionar uma melhor compreensão do problema, a seguir é apresentado um pequeno exemplo para ilustrar o estudo. Dado um conjunto de 10 tipos de insumos hospitalares e um conjunto de 3 tipos de procedimentos cirúrgicos denotados por: Procedimento 1, Procedimento 2 e Procedimento 3. As necessidades de cada tipo de item devem ser atendidas com as respectivas quantidades para cada procedimento, conforme apresentado na Tabela 1. Um requisito importante para resolver o problema é que não pode ter a falta de itens e deve ser evitado o desperdício da atribuição de itens que ficam em excesso, por não serem usados. Além disso, um kit personalizado para o procedimento cirúrgico poderá ser composto por itens avulsos e kits que também podem ser utilizados em outros procedimentos.

Tabela 1: Necessidades de itens

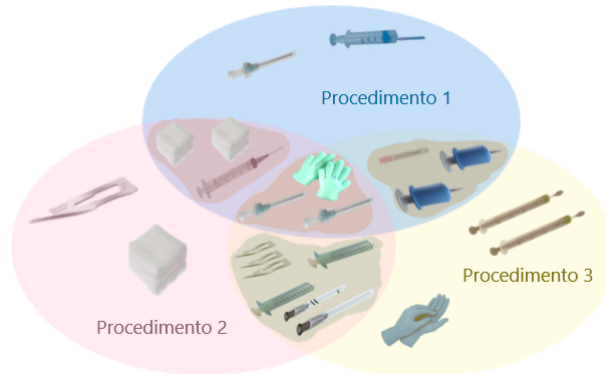
Item	Procedimento 1	Procedimento 2	Procedimento 3
Agulha Descartável 14 x 7	3	2	2
Agulha Descartável 20 x 55	1	-	1
Agulha Descartável 40 x 12	-	3	3
Compressa de Gaze Estéril	2	3	-
Lâmina de Bisturi	-	4	3
Luva Cirúrgica n 7	1	1	2
Luva Cirúrgica n 8	1	-	1
Seringa Descartável 3 ml	3	-	2
Seringa Descartável 5 ml	1	1	-
Seringa Descartável 10 ml	-	2	4

A Figura 1 apresenta a visualização da solução para o exemplo ilustrativo, onde foram configurados 4 kits com as seguintes configurações: um kit compartilhado entre os três procedimentos, um kit comum entre os procedimentos 1 e 2, um kit atribuído aos procedimentos 1 e 3 e um kit compartilhado entre os procedimentos 2 e 3. Nota-se que cada kit configurado é composto pelos itens das interseções entre os procedimentos. Nesta solução, cada tipo de procedimento foi atendido por kits diferentes e para atender as necessidades individuais foram atribuídos itens como avulsos.

3. Métodos de Solução

Nesta seção é apresentada a metodologia utilizada para a resolução do problema de pesquisa. Inicialmente a técnica para o agrupamento dos dados bipartidos é brevemente descrita e, em seguida, é apresentada a heurística desenvolvida para a determinação das quantidades de itens nos kits cirúrgicos.

Figura 1: Solução do Exemplo Ilustrativo



3.1. Enumeração de Bicliques Maximais

Um grafo bipartido é um grafo cujos vértices são subdivididos em um par de partições disjuntas não vazias, de forma que não haja dois vértices em uma mesma partição, conectados por uma aresta. Em um grafo bipartido, uma biclique é um subgrafo no qual cada vértice no subgrafo de uma partição é adjacente a cada um dos vértices de subgrafo no outro conjunto de partições. Este conceito pode ser formalizado com a seguinte definição:

Definição 1 (Biclique) *Seja um grafo bipartido $G = (U \cup V, E)$. Um biclique $B = (U', V')$ é um subgrafo de G formado por um par de dois subconjuntos disjuntos $U' \subseteq U, V' \subseteq V$, tal que, $\forall u \in U', v \in V', (u, v) \in E$.*

O biclique maximal em um grafo bipartido é aquele que não está contido em nenhum biclique maior, ou seja, é o biclique de maior tamanho. Este tamanho é medido pelo número de vértices (Biclique de Máximo Vértice) ou pelo número de arestas (Biclique de Máxima Aresta). Segundo Lu et al. [2020], o problema da enumeração de bicliques de máximo vértice é NP-difícil, enquanto identificar bicliques de máxima aresta pode ser realizado em tempo polinomial.

Zhang et al. [2008] propuseram um algoritmo intitulado Maximal Biclique Enumeration Algorithm (MBEA) e uma melhoria (iMBEA), ambos operam nos conjuntos de vértices de um grafo bipartido e são capazes de encontrar todas as bicliques maximais. Além disso, empregam a técnica de *branch-and-bound* para podar os candidatos não máximos. Os métodos foram disponibilizados publicamente por Lu et al. [2020], na linguagem de programação R, que invoca as implementações dos algoritmos escritas em C. O pseudocódigo é apresentado no Algoritmo 1, traduzido de Zhang et al. [2008].

3.2. Heurística Construtiva

A heurística proposta visa determinar as quantidades de itens necessárias para a realização dos procedimentos cirúrgicos, de acordo com cada biclique maximal encontrada através do uso da abordagem de enumeração de bicliques maximais. Basicamente, a heurística construtiva funciona da seguinte forma:

Considere a lista de bicliques maximais, encontrada com o algoritmo de agrupamento de dados bipartidos, ordenada crescentemente pelo tamanho de cada biclique. O kit cirúrgico deve ser preenchido para cada biclique da lista de maneira que, para cada tipo de item, a quantidade mínima deste item, que atende simultaneamente aos procedimentos, deve ser adicionada ao kit. A cada passo, deve ser verificado se o tipo do item na lista de biclique já foi adicionado a algum kit

anterior, visto que, deve ser garantido que cada tipo de item pertença a somente um kit cirúrgico. O pseudocódigo da heurística para a construção dos kits é mostrado no Algoritmo 2.

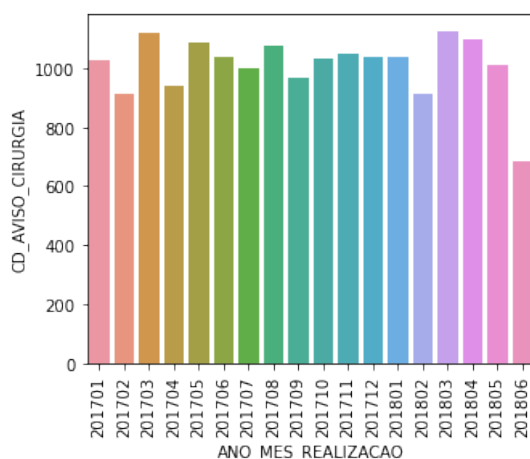
4. Testes Computacionais

Nesta seção são apresentados os experimentos computacionais realizados empregando as abordagens de solução descritas na Seção 3. Os testes foram executados em um computador com o processador Intel (R) Core (TM) i7-4790 CPU 3.60GHZ, 16GB de memória RAM, sob o sistema operacional Windows 10 Pro. Para enumeração das bicliques maximais foi usado o pacote Biclique, na linguagem de programação R, proposto por Lu et al. [2020] e disponível publicamente em: <https://github.com/YupingLu/biclique>. A heurística foi implementada na linguagem de programação Python 3.

4.1. Base de Dados

A base de dados foi fornecida pela Santa Casa de Misericórdia de São Carlos, e nela estão contidas todas as movimentações de materiais hospitalares e medicamentos da farmácia do centro cirúrgico do hospital, durante o período de um ano e meio. Há no total 563.625 linhas na base de dados, e cada linha é referente a um produto utilizado em cada procedimento. A Figura 2 traz uma visualização da quantidade de procedimentos cirúrgicos realizados ao longo dos meses.

Figura 2: Quantidade de cirurgias realizadas mensalmente



Para realização dos testes foram considerados somente os dados do ano de 2017, para retirar os efeitos de sazonalidade dos dados. Neste período, foram realizados mais de 12 mil cirurgias, correspondendo a mais de 700 tipos de procedimentos cirúrgicos, compreendidos em 36 especialidades.

Para compor os cenários de testes, foram considerados os 30 tipos de procedimentos cirúrgicos mais realizados na Santa Casa da Misericórdia de São Carlos, listados na Tabela 2. Cabe destacar que para identificar os itens necessários para cada procedimento cirúrgico, foram considerados os mais frequentes e utilizados em ao menos 40% dos casos por cirurgia.

Tabela 2: Lista de procedimentos

<i>j</i>	Procedimentos Cirúrgicos
1	CESARIANA - FETO MULTIPLO
2	PARTO NORMAL
3	CATETERISMO CARDIACO
4	VIDEO COLECISTECTOMIA
5	CATETERISMO CARDIACO E E OU D COM CINEANGIOCORONARIOGRAFIA E VENTRICULOGRAFIA
6	CURETAGEM POS ABORTO
7	FRATURA FEMUR - TRAT CIRURGICO
8	ANGIOPLASTIA CORONARIANA COM IMPLANTE DE PROTESE INTRALUMINAL
9	BLOQUEIO NEUROLITICO PERIDURAL OU SUBAR
10	CESARIANA - FETO UNICO
11	LAPAROTOMIA EXPLORADORA
12	ANGIOPLASTIA TRANSLUMINAL PERCUTANEA DE MULTIPLOS VASOS COM IMPLANTE DE STENT
13	COLOCACAO URETEROSCOPICA DE DUPLO J
14	DESBRIDAMENTO
15	APENDICECTOMIA
16	URETERORENOLITOTRIPIA FLEXIVEL UNILATERAL
17	HISTERECTOMIA ABDOMINAL
18	PALPEBRAS
19	ABSCESO - INCISAO E DRENAGEM
20	FRATURA/LUXACAO TORNOZELO - TRAT CIRURGICO
21	FRATURA/ LUXACAO PUNHO/CARPO - TRAT CIRURGICO
22	COLOCACAO ENDOSCOPICA DE DUPLO J
23	HERNIORRAFIA UMBILICAL
24	FRATURA TIBIAL
25	IMPLANTE DE PROTESE DE MAMA
26	RETIRADA DE MATERIAL DE SINTESE
27	HERNIORRAFIA INGUINAL
28	FISTULA ARTERIO VEN DOS MEMBROS
29	CURETAGEM SEMIOTICA COM OU SEM DILATAÇAO
30	LAPAROTOMIA C/BIOPSIA

4.2. Resultados

Nesta seção são apresentados os resultados dos experimentos computacionais realizados visando configurar kits cirúrgicos compostos por itens nas interseções entre os procedimentos. Estes testes foram propostos para mostrar que o uso das técnicas apresentadas na Seção 3, é eficiente para a determinar kits mais genéricos, com maior nível de compartilhamento entre os procedimentos.

Na Tabela 3 são apresentadas as instâncias utilizadas, que formam cenários de testes para os procedimentos cirúrgicos mais frequentemente realizados na base de dados. Cada instância define diferentes valores para as quantidades de procedimentos, e suas respectivas necessidades de itens, para analisar se as abordagens são eficientes para a resolução do problema com aumento no tamanho dos grafos bipartidos, que representam cada instância.

Tabela 3: Instâncias

Instância	1	2	3	4	5	6
Itens	42	58	83	92	101	118
Procedimentos	3	5	10	15	20	30

Para mostrar como o problema é solucionado, são expostos os resultados para a Instância

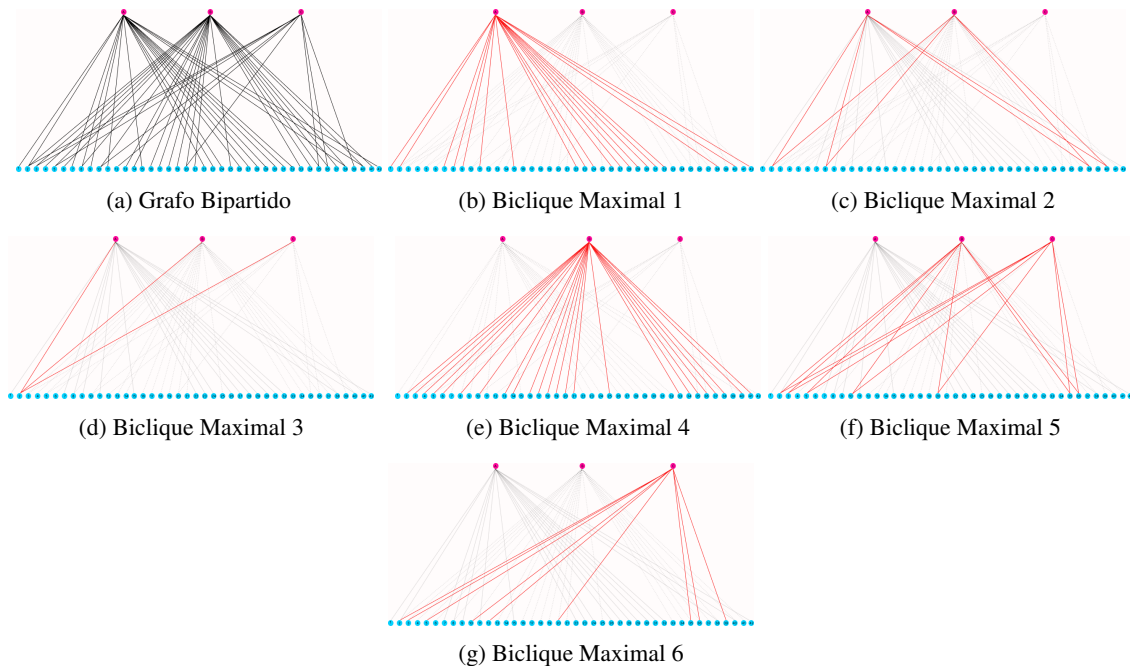
1, que possui a menor quantidade total de vértices do grafo bipartido. A Tabela 4 apresenta as soluções encontradas com o uso do pacote Biclique R, que denota cada biclique por $K_{p,q}$ (ou seja, p vértices na partição de itens e q vértices na partição de procedimentos). Além disso, mostra os índices dos itens e, a quais procedimentos correspondem, para cada biclique maximal enumerada.

Tabela 4: Resultados: Bicliques Maximais - Instância 1

Bicliques	Notação	Itens	Procedimentos
1	$K_{20,1}$	0, 1, 6, 7, 8, 10, 14, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 37, 39, 41	Cateterismo
2	$K_{4,2}$	1, 7, 37, 39	Cateterismo e Cesariana
3	$K_{1,3}$	1	Cateterismo, Cesariana e Parto Normal
4	$K_{24,1}$	1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 24, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39, 40	Cesariana
5	$K_{7,2}$	1, 2, 4, 9, 19, 34, 35	Cesariana e Parto Normal
6	$K_{9,1}$	1, 2, 4, 9, 11, 19, 34, 35, 38	Parto Normal

A Figura 3 ilustra o grafo bipartido correspondente ao cenário de teste da Instância 1 e também, as bicliques maximais que foram enumeradas para este problema. Nota-se que foram identificados grupos de itens compartilhados entre os procedimentos e grupos que atendem às necessidades individuais, específicas para cada procedimento cirúrgico.

Figura 3: Grafo Bipartido e Bicliques Maximais - Instância 1



Para a composição dos kits cirúrgicos, devem ser adicionadas as quantidades de cada tipo de item para atender as necessidades dos procedimentos. Assim, a partir das bicliques maximais

determinadas, a heurística construtiva apresentada na Seção 3.2 foi utilizada para preencher os kits cirúrgicos. A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos pelo método heurístico, identificando a quantidade de itens em cada kit configurado e a quantidade total de itens que devem ser levados como avulsos para a realização dos procedimentos. Pode ser observado que o método constrói cada kit cirúrgico eficientemente e com baixo tempo computacional.

Tabela 5: Resultados: Solução Heurística - Instância 1

Kit Cirúrgico	Itens	Avulsos	Tempo(s)
Cateterismo/Cesariana/Parto	2	2	0.002
Cateterismo/Cesariana	3	8	0.001
Cesariana/Parto	10	1	0.001
Parto	86	0	0.007
Cateterismo	174	0	0.000
Cesariana	18	0	0.007

A Tabela 6 traz os resultados para cada uma das técnicas de solução propostas. Nota-se que o uso do *framework* para a enumeração das bicliques maximais foi uma estratégia eficaz para identificar todos os relacionamentos entre itens e procedimentos em todas as instâncias e de forma rápida, mostrando quantos bicliques foram encontrados e identificando quais foram os de máximo vértice e máxima aresta.

Tabela 6: Resultados

Instância	Enumeração de Bicliques				Heurística		
	Bicliques	Máximo Vértice	Máxima Aresta	Tempo(s)	Kits	Avulsos	Tempo(s)
1	6	$K_{24,1}$	$K_{24,1}$	0.2797	6	11	0.0119
2	16	$K_{24,1}$	$K_{17,2}$	8.9522	14	72	0.0279
3	43	$K_{24,1}$	$K_{16,3}$	7.7120	29	180	0.0599
4	113	$K_{24,1}$	$K_{15,4}$	6.3919	47	819	0.1212
5	197	$K_{24,1}$	$K_{15,4}$	11.4478	59	1198	0.2668
6	451	$K_{2,28}$	$K_{4,18}$	13.2317	76	1619	0.5286

Na abordagem heurística pode ser analisado que todos os kits foram preenchidos com as quantidades necessárias de itens para os procedimentos com bom tempo de resolução, até mesmo em instâncias com maior número de bicliques maximais. Como o método atribui ao kit cirúrgico a quantidade mínima de itens que atende simultaneamente aos procedimentos, pode ser visto um grande aumento nas quantidades de itens avulsos. Neste sentido, do ponto de vista de usabilidade, seria mais viável identificar nos itens avulsos grupos menores para a composição de sub-kits. Isto por que, muitos itens avulsos ocasionam muitas embalagens individuais sendo abertas durante a realização da cirurgia. Com isso, formar kits cirúrgicos compostos por estes itens que ficam avulsos seria uma proposta mais viável, do ponto de vista prático.

5. Conclusões

O principal objetivo deste trabalho foi aplicar uma técnica de agrupamento de dados bi-partidos e uma heurística construtiva para a formação de kits compostos por itens médicos para serem utilizados em diferentes tipos de procedimentos cirúrgicos. O uso das estratégias propostas permitiu a obtenção de kits com as características esperadas, o que mostra que são alternativas

eficientes para proporcionar melhorias no processo de montagem de kits de uso comum entre as cirurgias. Através da resolução das instâncias com o *framework* de enumeração das bicliques maximais, foi possível encontrar os grupos de forma rápida e eficiente. Os resultados mostraram ainda que o método heurístico constrói os kits com as quantidades de itens em bom tempo computacional.

Cabe destacar que para instâncias com maiores quantidades de bicliques, o método aumenta o número de itens a serem adicionados individualmente aos procedimentos como avulsos. Neste sentido, ainda é necessário realizar melhorias no método para ser possível identificar novos agrupamentos para os itens avulsos, visando obter novos kits ou sub-kits para os procedimentos. Além disso, como continuidade do trabalho, pretende-se analisar as soluções obtidas com as encontradas por Dias et al. [2021].

Agradecimentos: Este trabalho foi apoiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) no processo nº 2013/07375-0 e pelo convênio 1008867, Processo 18.1.00779.55.4 da parceria com a Santa Casa de Misericórdia de São Carlos-SP com a Universidade de São Paulo (USP), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Hospital Universitário da Universidade Federal de São Carlos-SP (HU-UFSCar), Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares (EBSERH).

Referências

- Ahmadi, E., Masel, D. T., e Hostetler, S. (2019a). A robust stochastic decision-making model for inventory allocation of surgical supplies to reduce logistics costs in hospitals: A case study. *Operations Research for Health Care*, 20:33–44.
- Ahmadi, E., Masel, D. T., Schwerha, D., e Hostetler, S. (2019b). A bi-objective optimization approach for configuring surgical trays with ergonomic risk consideration. *IIE Transactions on Healthcare Systems Engineering*, 9(4):327–341.
- Alves, A. C., Gonçalves, A. M., Fernandes, J. M., Vaz, I., Teixeira, S., Sousa, I., Pereira, J. J., e Dória-Nóbrega, S. (2016). Combined tools for surgical case packages contents and cost optimization: a preliminary study. *Procedia Computer Science*, 100:393–398.
- Baines, R., Colquhoun, G., Jones, N., e Bateman, R. (2001). The benefits of using customised procedure packs. *British Journal of Perioperative Nursing (United Kingdom)*, 11(1):34–39.
- Cardoen, B., Beliën, J., e 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.
- Dias, L. L. B., Santos, M. O. d., Okano, E. Y., e Nascimento, M. C. V. (2021). Modelo matemático para a determinação de kits cirúrgicos padronizados. *Anais do LVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*.
- Dobson, G., Seidmann, A., Tilson, V., e Froix, A. (2015). Configuring surgical instrument trays to reduce costs. *IIE Transactions on Healthcare Systems Engineering*, 5(4):225–237.
- Dollevet, T., van Essen, J. T., e Glorie, K. M. (2018). Solution methods for the tray optimization problem. *European Journal of Operational Research*, 271(3):1070–1084.

- Freitas, P. d. S. (2016). Padronização de kit de medicamentos para cirurgias cardíacas em um hospital federal do rio de janeiro.
- John-Baptiste, A., Sowerby, L., Chin, C., Martin, J., e Rotenberg, B. (2016). Comparing surgical trays with redundant instruments with trays with reduced instruments: a cost analysis. *Canadian Medical Association Open Access Journal*, 4(3):E404–E408.
- Lu, Y., Phillips, C. A., e Langston, M. A. (2020). Biclique: an r package for maximal biclique enumeration in bipartite graphs. *BMC research notes*, 13(1):1–5.
- Mattos, E. M. S., Faintuch, J., e Ceconello, I. (2007). Impacto farmacoeconômico da implantação do método de dispensação de drogas em forma de kit em procedimentos cirúrgicos e anestésicos. *ABCD. Arquivos Brasileiros de Cirurgia Digestiva (São Paulo)*, 20:102–105.
- Mukherjee, A. P. e Tirthapura, S. (2016). Enumerating maximal bicliques from a large graph using mapreduce. *IEEE Transactions on Services Computing*, 10(5):771–784.
- Nast, K. e Swords, K. (2019). Decreasing operating room costs via reduction of surgical instruments. *Journal of pediatric urology*, 15(2):153–e1.
- Nunes, D., Bernardino, S., Mota, L., e Príncipe, F. (2018). Itens cirúrgicos individualizados e packs cirúrgicos personalizados na gestão do bloco operatório. *Revista de Investigação & Inovação em Saúde*, 1(2):37–47.
- Oliveira, C. (2017). Gestão de estoques a partir da lista de materiais (bill of materials): o caso de um hospital universitário.
- Paranaguá, T. T. d. B., Branquinho, N. C. S. d. S., Lourenço, P. H. A., Bezerra, A. L. Q., e Neves, M. J. A. d. O. (2009). Elaboração do projeto de kit cirúrgico pré-montado como estratégia de melhoria do programa cirúrgico: relato de experiência. *Anais*.
- Reymondon, F., Pellet, B., e Marcon, E. (2006). Methodology for designing medical devices packages based on sterilisation costs. In *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, volume 12, Saint - Etienne, France. URL <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01668093>. cited By 1.
- Reymondon, F., Pellet, B., e Marcon, E. (2008). Optimization of hospital sterilization costs proposing new grouping choices of medical devices into packages. *International Journal of Production Economics*.
- Yalamanchi, P., Miller, J. E., Prout, S., Matthews, E., Spagnol, C., Harrington, S., Chang, H. F., Spector, M. E., Casper, K. A., e 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*.
- Zhang, Y., Chesler, E. J., e Langston, M. A. (2008). On finding bicliques in bipartite graphs: a novel algorithm with application to the integration of diverse biological data types. In *Proceedings of the 41st Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS 2008)*, p. 473–473. IEEE Computer Society.

Algoritmo 1 MBEA/iMBEA (Linhas com asterisco se aplicam ao iMBEA)

Entrada: *encontra_biclique*(G, L, R, P, Q)

G : um grafo bipartido $G = (U \cup V, E)$;

L : Conjunto de vértices $\in U$ que são vizinhos comuns de vértices em R , inicialmente $L = U$;

R : conjunto de vértices $\in V$ pertencentes à biclique atual, inicialmente vazio;

P : conjunto de vértices $\in V$ que podem ser adicionados em R , inicialmente $P = V$, classificados por ordem não decrescente de tamanho de vizinhança comum;

Q : conjunto de vértices usados para determinar a maximalidade, inicialmente vazio;

* $i \leftarrow 0$; // Posição do candidato selecionado em P .

Enquanto $P \neq \emptyset$ **Faça**

* $x \leftarrow P[i + +]$; // Selecionar o próximo candidato de P em ordem.

$R' \leftarrow R \cup \{x\}$;

$L' \leftarrow \{u \in L \mid (u, x) \in E(G)\}$; // Extender biclique.

* $\overline{L'} \leftarrow L \setminus L'$; $C \leftarrow \{x\}$;

$P' \leftarrow \emptyset$; $Q' \leftarrow \emptyset$; // Criar novos conjuntos.

// Checar a maximalidade.

$e_maximal \leftarrow \text{TRUE}$;

Para todo $v \in Q$ **Faça**

$N[v] \leftarrow \{u \in L' \mid (u, v) \in E(G)\}$;

// Fim da ramificação.

Se $|N[v]| = |L'|$ **então**

$e_maximal \leftarrow \text{FALSE}$;

break;

Senão $|N[v]| > 0$ **então** $Q' \leftarrow Q' \cup \{v\}$;

Fim Se

Fim Para

Se $e_maximal = \text{TRUE}$ **então**

Para todo $v \in P, v \neq x$ **Faça**

$N[v] \leftarrow \{u \in L' \mid (u, v) \in E(G)\}$; // Pegar os vizinhos de $v \in L'$.

Se $|N[v]| = |L'|$ **então**

$R' \leftarrow R' \cup \{v\}$; // Expandir o maximal.

* $S \leftarrow \{u \in \overline{L'} \mid (u, v) \in E(G)\}$;

Se $|S| = 0$ **então** $C \leftarrow C \cup \{v\}$; // Poda adicional.

Fim Se

Senão $|N[v]| > 0$ **então**

* $P' \leftarrow P' \cup \{v\}$ // Inclua v em P' em ordem não decrescente de tamanho de vizinhança comum.

Fim Se

Fim Para

retorne(L', R'); // Retorna biclique maximal.

Se $P' \neq \emptyset$ **então** *encontra_biclique*(G, L', R', P', Q');

Fim Se

Fim Se

// Mover C do conjunto de candidatos para o conjunto de candidatos anterior.

* $Q \leftarrow Q \cup C$; $P \leftarrow P \setminus C$;

Fim Enquanto

Algoritmo 2 Heurística Construtiva de Kits Cirúrgicos

Entrada: ListaDeBicliques[], MatrizDeNecessidadesListaDeBicliques[] $\leftarrow$ ordenaBicliques()Solução $\leftarrow \emptyset$ ArmazenaItens $\leftarrow \emptyset$ **Para** $k \in$ ListaDeBicliques **Faça**

GuardaQuantidades = []

GuardaQuantidadesAvulsas = []

 BicliqueAtual $\leftarrow$ ListaDeBicliques[k] Itens $\leftarrow$ BicliqueAtual[0] Procedimentos $\leftarrow$ BicliqueAtual[1] ListaIguais = [x, tal que $x \in$ ArmazenaItens] AtualizaItens = [y, tal que $y \notin$ ListaIguais] Itens $\leftarrow$ AtualizaItens **Para** $i \in$ Itens **Faça** NecessidadesAtuais $\leftarrow$ MatrizdeNecessidades[i][Procedimentos]

Quantidades = min(NecessidadesAtuais)

Avulsos = NecessidadesAtuais - Quantidades

 GuardaQuantidades $\leftarrow$ Quantidades GuardaQuantidadesAvulsas $\leftarrow$ Avulsos

KitAtual = GuardaQuantidades

AvulsosKitAtual = GuardaQuantidadesAvulsas

Fim Para ArmazenaItens $\leftarrow$ Itens Solução $\leftarrow$ [[Itens], [KitAtual]]**Fim Para**Retorna Solução
