

XIX ONPCE

Oficina Nacional de Problemas de Corte,
Empacotamento, Planejamento e Programação de
Produção e Correlatos



CADERNO DE RESUMOS

24 e 25 de Outubro de 2018
Bauru, SP

XIX ONPCE: Oficina Nacional de Problemas de Corte e Empacotamento, Planejamento e Programação de Produção e Correlatos

Comissão Organizadora

Profa. Dra. Adriana Cristina Cherri Nicola (Unesp/FC)
Profa. Dra. Andréa Carla Gonçalves Vianna (Unesp/FC)
Profa. Dra. Regiane Máximo de Souza (Unesp/FEB)
Profa. Dra. Sônia Cristina Poltroniere Silva (Unesp/FC)

Apoio

Ana Laura Carvalho Bianco
Arthur Medeiros Figueiredo Barreto
Douglas Nogueira do Nascimento
Felipe Kesrouani Lemos
Laís Baptista Barbosa
Letícia Leite Pavanello
Matheus Artioli Leandrin
Pedro Rochavetz de Lara Andrade

Apoio Técnico

Christian Ferreira Oivane
Daniel Buso de Lima
Danilo Pires Maciel
Ivone Barbieri

Organização:

Unesp – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” – Câmpus/Bauru

Realização/Apoio:



XIX ONPCE: Oficina Nacional de Problemas de Corte e Empacotamento, Planejamento e Programação de Produção e Correlatos

Caros colegas,

Bem-vindos à XIX Oficina Nacional de Problemas de Corte e Empacotamento, Planejamento e Programação de Produção e Correlatos!

É uma honra sediarmos, pela terceira vez, essa reunião científica na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), campus de Bauru.

A UNESP é uma das maiores e mais importantes universidades brasileiras, com destacada atuação no ensino, na pesquisa e na extensão de serviços à comunidade. Mantida pelo Governo do Estado de São Paulo, é uma das três universidades públicas de ensino gratuito, ao lado da USP (Universidade de São Paulo) e da UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas). Criada em 1976, a partir de institutos isolados de ensino superior que existiam em várias regiões do Estado de São Paulo, a UNESP tem 34 unidades em 24 cidades, sendo 22 delas no Interior, uma na Capital do Estado e uma no Litoral Paulista, em São Vicente.

O campus de Bauru possui três faculdades: Faculdade de Ciências, Faculdade de Engenharia e Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação. Entre os programas de pós-graduação em curso na UNESP de Bauru, podemos destacar a Pós-Graduação em Ciência da Computação (Inter campus), a Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Elétrica, Civil e de Produção, além do Profmat- Mestrado em Matemática em Rede Nacional. Em tais programas, encontramos docentes e estudantes que atuam em projetos relacionados à temas da ONPCE.

Que a XIX ONPCE proporcione dias produtivos e enriquecedores, com muita troca de experiências e aprendizagem.

Sejam bem-vindos a Bauru e um ótimo trabalho a todos.

Comissão Organizadora

XIX ONPCE: Oficina Nacional de Problemas de Corte e Empacotamento, Planejamento e Programação de Produção e Correlatos

Sumário

Palestras

- A biased random-key genetic algorithm for the unequal area facility layout problem 7
José Fernando Gonçalves (INESC TEC e Faculdade de Economia, Universidade do Porto, Porto, Portugal)
- Problemas de sequenciamento e planejamento da produção em empresas de manufatura e logística 8
Martín Gómez Ravetti (Departamento de Engenharia de Produção – Universidade Federal de Minas Gerais)
- Do fim do doutorado ao sucesso na aplicação da matemática na indústria 4.0 9
Luiz Henrique Cherri; Leandro Resende Mundim (Optimized Decision Making – ODM – São Carlos)

Apresentações orais

- Abordagens para o problema de carregamento em um único contêiner 11
Oliviana Xavier do Nascimento; Thiago Alves de Queiroz
- An optimization model for combined selecting, planting and harvesting sugarcane varieties . 13
Helenice de O. Florentino; Daniela R. Cantane; Dylan F. Jones; Djamila Ouelhadj; Banafesh Khosravi; Chandra Ade Irawan
- Aplicação de algoritmo genético na otimização do agendamento de comunicações com redes de satélites 14
Victor de Sá Nunes; Felipe Lobo Medeiros; Monica Maria De Marchi
- Branch-and-price para o problema de empacotamento em recipientes com restrições de classe 16
Yulle G. F. Borges; Flávio K. Miyazawa; Rafael C. S. Schouery; Eduardo C. Xavier
- Modelo de otimização multiobjetivo para o planejamento da rede reversa de aparas de papel 18
Victor Kenishi de Carvalho Santos; Eli Angela Vitor Toso
- O problema de dimensionamento de lotes integrado com o corte de estoque sob incerteza de demandas 20
Vinícius Loti; Eduardo Curcio; Flávio Miyazawa; Elsa Silva; Pedro Amorim
- Planejamento da rede de distribuição de medicamentos com diferentes alíquotas de tributação do ICMS 22
Cindy Marcela Lobo Ramos; Eli Angela Vitor Toso
- Planejamento integrado para aquisição e *download* de dados por uma constelação de satélites 24
Maria José Pinto; Mônica Maria De Marchi; Ana Isabel Martins Botto de Barros
- Planejamento tático de redes de distribuição farmacêuticas 26
Aura Jalal Osorio; Eli Angela Vitor Toso; Reinaldo Morabito
- Problema de corte de estoque bidimensional com sobras aproveitáveis e incerteza na demanda 28
Douglas Nogueira do Nascimento; Adriana Cristina Cherri; José Fernando Oliveira

XIX ONPCE: Oficina Nacional de Problemas de Corte e Empacotamento, Planejamento e Programação de Produção e Correlatos

Problema de corte de estoques com modos alternativos de manufatura	30
Felipe Kesrouani Lemos; Adriana Cristina Cherri; Silvio Alexandre Araújo	
Problema de empacotamento de largura de banda sob demanda incerta: uma abordagem baseada em simulação	32
Renan Brito Butkeraites; Leduino de Salles Neto; Michel Gendreau	
Problema integrado de dimensionamento, sequenciamento de lotes e corte de estoque	34
Gislaine Mara Melega; Silvio A. de Araújo; Reinaldo Morabito	
Um modelo de otimização para o planejamento da produção e distribuição de polímeros reciclados	36
Arthur Guedes Pinto; Eli Angela Vitor Toso	
Um modelo de programação inteira para problemas de corte de itens irregulares	37
Layane Rodrigues de Souza Queiroz; Marina Andretta	
Um modelo para o CCTP com veículos elétricos	39
Lucas Porto Maziero; Rafael Kendy Arakaki; Matheus Diógenes Andrade; Fábio Luiz Usberti	
Um novo modelo de dimensionamento e sequenciamento de lotes integrado ao corte de estoque para a indústria de papel	41
Guilherme de Oliveira Macedo; Carla Taviane Lucke da Silva Ghidini; Sônia Cristina Poltroniere	
Uma abordagem com meta-heurísticas para o problema MAXSPACE	43
Mauro Roberto Costa da Silva; Rafael Crivellari Saliba Schouery	
Uma abordagem do processo da produção em indústrias de recipientes de ampolas térmicas.	44
Magna Paulina de Souza Ferreira; Flaviana Moreira de Souza Amorim; Claudio Fabiano Motta Toledo; Márcio da Silva Arantes	
Uma abordagem exata para o problema de corte biobjetivo	46
Horácio Hideki Yanasse; Luiz Leduino de Salles Neto; Calvin Rodrigues Costa	
Uma nova abordagem para o problema de corte de estoque com sobras aproveitáveis	48
Arthur Barreto; Luiz Henrique Cherri; Adriana Cristina Cherri	
Un modelo de programación entera basada en una red de requisiciones o Full-truckloads para el problema de asignación de vehículos	50
Cesar Dario Alvarez Cruz; Pedro Augusto Munari Junior; Reinaldo Morabito	

Apresentações em painéis

Aplicação da heurística relax and fix em problemas de dimensionamento de lotes com múltiplos itens	53
Ana Laura Carvalho Bianco; Adriana Cristina Cherri	
Dimensionamento e sequenciamento de lotes de produção com gerenciamento da demanda via pedidos	55
Rudivan Paixão Barbosa; Willy A. Oliveira; Maristela Oliveira dos Santos	
Estudo da otimização de layout robusto e dinâmico por meio da utilização de métodos exatos e metaheurísticas	57
Elaine Xavier Dias; Anibal Tavares de Azevedo; Luiz Leduino Neto	
Estudos sobre o problema de corte unidimensional: modelagens matemáticas e métodos de solução	59
Vinicius Dias de Vasconcelos; Sônia Cristina Poltroniere	

XIX ONPCE: Oficina Nacional de Problemas de Corte e Empacotamento, Planejamento e Programação de Produção e Correlatos

Formulações matemáticas e heurísticas para o problema de balanceamento e sequenciamento de linhas flexíveis de montagem e manufatura: comparações e estudo de caso	61
Marco Antonio Bonelli Junior; Cleber Damiano Rocco	
Heurísticas para o problema de dimensionamento de lotes com máquinas paralelas flexíveis.	63
Melka Carolina Faria Catelan; Silvio Alexandre de Araujo; Diego Jacinto Fiorotto	
Modelo multiobjetivo de otimização da produção/produktividade de cana-de-açúcar e de cana-energia	64
Gilmar Tolentino; Antônio Roberto Balbo; Sônia Cristina Poltroniere; Helenice de Oliveira Florentino	
Modelo multiobjetivo para planejamento de logística reversa de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE)	66
João Gabriel Hernandez; Eli Angela Vitor Toso; Virgínia Ap. Silva Moris	
O problema de dimensionamento de lotes com múltiplas plantas	67
Laís Baptista Barbosa; Sônia Cristina Poltroniere	
O problema de dimensionamento de lotes integrado ao problema de transporte	69
Samanta Bellei Teixeira; Silvio Alexandre de Araujo; Diego Jacinto Fiorotto	
O problema de disposição de fardos de algodão em uma indústria têxtil	71
Monique da Silva Baitinga; Victor Claudio Bento de Camargo	
Otimização do processo de corte de barras em uma indústria do ramo de molas	73
Pedro Rochavetz de Lara Andrade; Silvio Alexandre de Araujo; Adriana Cristina Cherri	
Otimização energética em sistemas de captação e distribuição de água	75
Ana Raquel Faccioli; Edilaine Martins Soler; Maristela Oliveira dos Santos	
Planejamento da produção integrado ao problema de otimização da utilização de fôrmas	77
Caroline de Arruda Signorini; Silvio Alexandre de Araujo; Gislaíne Mara Melega	
Planejamento e sequenciamento do processo de colheita da cana-de-açúcar	78
André Luis Martins Lopes; Sônia Cristina Poltroniere; Edilaine Martins Soler	
Problema de replanejamento da produção em ambientes de usinagem	80
Matheus Artioli Leandro; Luiz Henrique Cherri; Adriana Cristina Cherri	
Problema integrado na otimização do processo produtivo de uma indústria de móveis	82
Marcelo Leite Alves Wanderley; Kelly Cristina Poldi; Carla Tavianes Lucke da Silva Ghidini	
Reformulações para o problema de dimensionamento de lotes: um estudo inicial	84
Maurício Rocha Gonçalves; Silvio Alexandre de Araujo	
Resolução de problemas por grafos eulerianos	86
Drielly Alves de Carvalho; Michelli Maldonado	
Stability properties of an empiric-based model for biohydrogen production	87
Felipe Teles; Helenice O. Florentino; Marianna Cerasuolo	
Um estudo sobre heurísticas de arredondamento para o problema do corte de estoque bidimensional	89
Cheienne Chaves; Socorro Rangel	
Uma breve revisão dos principais conceitos, métodos de resolução e resultados para problemas de otimização multiobjetivo	91
Jennifer Cristina Borges; Socorro Rangel	

XIX ONPCE: Oficina Nacional de Problemas de Corte e Empacotamento, Planejamento e Programação de Produção e Correlatos

Palestras

A biased random-key genetic algorithm for the unequal area facility layout problem

José Fernando Gonçalves

INESC TEC e Faculdade de Economia, Universidade do Porto, Porto, Portugal

This paper presents a biased random-key genetic algorithm (BRKGA) for the unequal area facility layout problem (UA-FLP) where a set of rectangular facilities with given area requirements has to be placed, without overlapping, on a rectangular floor space. The objective is to find the location and the dimensions of the facilities such that the sum of the weighted distances between the centroids of the facilities is minimized. A hybrid approach combining a BRKGA, to determine the order of placement and the dimensions of each facility, a novel placement strategy, to position each facility, and a linear programming model, to fine-tune the solutions, is developed. The proposed approach is tested on 100 random datasets and 28 of benchmark datasets taken from the literature and compared with 21 other benchmark approaches. The quality of the approach was validated by the improvement of the best known solutions for 19 of the 28 extensively studied benchmark datasets.

Problemas de sequenciamento e planejamento da produção em empresas de manufatura e logística

Martín Gómez Ravetti

Departamento de Engenharia de Produção – Universidade Federal de Minas Gerais

Este seminário tem dois objetivos. O primeiro é apresentar os temas de pesquisa na área de planejamento e controle da produção e sequenciamento que nosso grupo na UFMG vem desenvolvendo nos últimos anos. Para isto, discutiremos brevemente características de alguns problemas, objetivos, metodologias, resultados e trabalhos futuros. Num segundo momento, discutiremos dois casos em particular. O primeiro trata sobre um problema de sequenciamento de caminhões numa estação de cross-docking. Neste cenário, trabalhamos com uma abordagem híbrida, integrando heurísticas com relaxação Lagrangeana. A segunda situação trata sobre a relação entre o planejamento desagregado e o sequenciamento de tarefas numa empresa de manufatura. Neste cenário, focamos nas diferentes formas de integração no processo de tomada de decisão, considerando também um certo grau de incertezas, na forma de falhas de máquinas.

Do fim do doutorado ao sucesso na aplicação da matemática na indústria 4.0

Luiz Henrique Cherri; Leandro Resende Mundim
ODM - Optimized Decision Making, São Carlos, SP

Na maioria das vezes que alguém inicia um doutorado, sempre se tem em mente um tipo de carreira a seguir: ser professor universitário. Nesta palestra vamos mostrar o empreendedorismo como uma alternativa viável de carreira, apontando alguns dos casos de sucesso da ODM. Também apresentaremos o projeto PIPE FAPESP, que tem por finalidade apoiar a execução de pesquisa científica e/ou tecnológica em micro, pequenas e médias empresas no Estado de São Paulo. Esperamos que a palestra possa despertar o interesse pelo empreendedorismo.

XIX ONPCE: Oficina Nacional de Problemas de Corte e Empacotamento, Planejamento e Programação de Produção e Correlatos

Apresentações orais

Abordagens para o Problema de Carregamento em um único Contêiner

Oliviana Xavier do Nascimento¹

Thiago Alves de Queiroz²

Unidade de Matemática e Tecnologia,

Universidade Federal de Goiás - Regional Catalão.

Este trabalho apresenta e compara duas abordagens para resolver o Problema de Carregamento em um único Contêiner (PCUC). Nesse problema, o objetivo é determinar quais itens devem ser levados no contêiner e em quais posições eles devem ser empacotados a fim de maximizar o valor ou o volume carregado. Abordagens semelhantes as desenvolvidas podem ser encontradas nos trabalhos de [1] e [3], contudo, aplicadas ao problema da mochila bidimensional.

As abordagens consideram como dados de entrada os seguintes parâmetros: largura, comprimento e altura do contêiner e dos itens, além do valor de cada item. Pretende-se, com a aplicação de cada abordagem, determinar quais itens devem ser levados no contêiner e em quais pontos $(X_i, Y_i$ e $Z_i)$ os itens escolhidos devem ser empacotados. O ponto $(X_i, Y_i$ e $Z_i)$ é tomado com referência ao canto inferior traseiro esquerdo e X_i, Y_i e Z_i são coordenadas sobre os eixos x, y e z , associadas, respectivamente, ao comprimento, largura e altura do contêiner. Os fluxogramas da Figura 1 ilustram o funcionamento das abordagens.

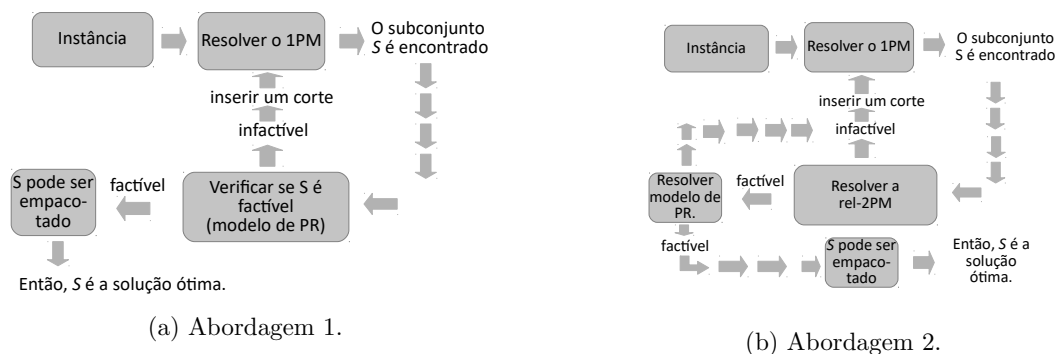
Na abordagem 1, primeiro resolve-se um modelo para a mochila unidimensional (1PM) para determinar um subconjunto S de itens, tal que a soma relacionada aos valores dos itens que compõem este subconjunto seja máxima e que o volume total não exceda o volume do contêiner. Depois, resolve-se um modelo de programação por restrições (PR) para verificar se existem coordenadas X_i, Y_i e Z_i para empacotar cada item i de S de tal forma que condições de não sobreposição sejam completamente atendidas. Se o modelo de programação por restrições é viável, S pode ser empacotado. Caso contrário, um corte é montado sobre os itens de S e é inserido no modelo da mochila unidimensional para que um subconjunto diferente seja selecionado da próxima vez que a mochila for resolvida. A abordagem 2 segue a mesma estrutura da abordagem 1. O que muda é que, na abordagem 2, a etapa de verificação de viabilidade é realizada, na maior parte do tempo, por meio de um modelo programação inteira para uma relaxação da mochila bidimensional (rel-2PM) ao invés de ser feita completamente pelo modelo de programação por restrições. Assim, quando um subconjunto ótimo para a mochila unidimensional com os cortes e viável para a relaxação for encontrado, resolve-se o modelo de programação por restrições para provar de fato a viabilidade do subconjunto S atual.

As abordagens foram codificadas em linguagem C++. Realizaram-se experimentos sobre 60 instâncias obtidas de [2] usando cada uma das abordagens. Para resolver as formulações que compõem as abordagens, utilizou-se o IBM ILOG CPLEX Optimization Studio na versão 12.8. O computador utilizado possui processador Intel Core i7-3570k de 3,40 Ghz, 8 GB de memória RAM e sistema operacional Linux Ubuntu 16.04 LTS. Os resultados alcançados são mostrados

¹olivianaxn@gmail.com

²taq@ufg.br

Figura 1: Fluxogramas das abordagens.



na Tabela 1. Apresenta-se, para cada abordagem, a porcentagem de instâncias para as quais as abordagens conseguiram encontrar a solução ótima, a taxa média de ocupação do contêiner, a quantidade média de cortes e o tempo médio de resolução.

Tabela 1: Resultados para as duas abordagens sobre um conjunto de 60 instâncias.

Abordagens	#inst. ótimas (%)	Taxa de ocupação (%)				Cortes		Tempo (s)
		Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupos 4, 5 e 6	rel-2PM	PR	
A1	50	61,64	73,02	68,70	—	—	166	1802,66
A2	50	61,64	73,02	68,70	—	751	0	1804,22

*As instâncias dos grupos 1, 2 e 3 possuem 10 tipos de itens e as do grupo 4, 5 e 6 possuem 20 tipos.

*Os volumes dos contêineres nas instâncias são 1000, 8000 e 27000.

A análise dos dados da Tabela 1 mostra que as abordagens alcançaram o mesmo desempenho com relação a número de instâncias resolvidas na otimalidade e em termos de volume empacotado. Com relação ao tempo de execução, a abordagem 1 foi 0,09% mais rápida do que a abordagem 2, mostrando que a resolução da relaxação associada ao 2PM pode não ser vantajosa.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (processo 308312/2016-3).

Referências

- [1] A. Caprara and M. Monaci. On the two-dimensional knapsack problem. *Operations Research Letters*, 32: 5—14, 2004.
- [2] L. Junqueira, R. Morabito, D. S. Yamashita, Three-dimensional container loading models with cargo stability and load bearing constraints, *Computers & Operations Research*, 39: 74—85, 2012.
- [3] T. A. Queiroz, P. H. D. B. Hokama, R. C. S. Schouery, F. K. Miyazawa, Two-dimensional disjunctively constrained knapsack problem: Heuristic and exact approaches, *Computers & Industrial Engineering*, 105: 313—328, 2017.

An optimization model for combined selecting, planting and harvesting sugarcane varieties

Helenice de O. Florentino¹ and Daniela R. Cantane¹

Departamento de Bioestatística IB UNESP, Botucatu, SP Brasil

Dylan F. Jones², Djamila Ouelhadj² and Banafesh Khosravi²

Department of Mathematics, Centre for Operational Research and Logistics, University of Portsmouth, Lion Gate Building, Lion Terrace, Portsmouth, PO1 3HF, UK

Chandra Ade Irawan³

Nottingham University Business School China, University of Nottingham Ningbo China, 199 Taikang East Road, Ningbo 315100, China.

The problem of selecting sugarcane varieties has been discussed due to its computational complexity and its great importance for the sugar, ethanol and energy industry [2], [3]. This work proposes an integrated mathematical programming model to deal with the selection of sugarcane varieties to be planted and the determination of the optimal date for planting and harvesting in order to increase production in the sugarcane industry and improve the quality of biomass whilst satisfying the main constraints imposed by sugarcane company. This problem is modeled as an integer linear.

The proposed model has been solved optimally using an exact method for small and medium instances and a metaheuristic based on Genetic Algorithm (GA) is proposed to generate good quality solutions in a relatively small average computational time compared to the exact method, [1]. A real case study indicates that the methodology could improve the sugarcane production by more than 11%. This methodology can be applied for sugarcane planting and harvesting planning for any sugarcane company. Therefore, the proposed model and its solution method can be an appropriate decision support tool for the mill manager.

Acknowledgements

The authors wish to thank the Brazilian foundations FAPESP (Grant Nos. 2014/01604-0 and 2014/04353-8), CNPq (Grant No. 302454/2016-0), PROEPE (UNESP) and FUNDUNESP.

References

- [1] K. Deb. *Multi-objective optimization using evolutionary algorithms*. Wiley-interscience series in systems and optimization. Wiley, Chichester, 2001.
- [2] H. O. Florentino and M. V. Pato. Bi-objective genetic approach for selection of sugarcane varieties. *Journal of the Operational Research Society*, 65:842–854, 2014.
- [3] H. O. Florentino, C. Irawan, A. F. Aliano, D. F. Jones, D. R. Cantane, J. J. Nervis. A multiple objective methodology for sugarcane harvest management with varying maturation periods. *Annals of Operations Research*. DOI 10.1007/s10479-017-2568-2. (in press).

¹helenice.silva@unesp.br and daniela.cantane@unesp.br

²dylan.jones@port.ac.uk, djamila.ouelhadj@port.ac.uk and banafsheh.khosravi@port.ac.uk

³Chandra.Irawan@nottingham.edu.cn

Aplicação de Algoritmo Genético na Otimização do Agendamento de Comunicações com Redes de Satélites

Victor de Sá Nunes¹

Universidade Federal de São Paulo (Unifesp)

Felipe Lobo Medeiros²

Instituto de Estudos Avançados (IEAv)

Monica Maria De Marchi³

Instituto de Estudos Avançados (IEAv)

1 Introdução

A utilização de satélites em diversos sistemas requer que sua comunicação com uma estação de solo seja agendada de alguma forma. Este agendamento pode ser modelado matematicamente como um problema de otimização combinatória com o objetivo de maximizar a qualidade da comunicação de acordo com a qualidade do sinal de telemetria. O trabalho tem como objetivo aplicar um algoritmo genético para solucionar o problema de agendamento de comunicações com satélites, considerando prioridades de tais comunicações.

Este trabalho aborda um sistema de satélites composto por uma rede de satélites artificiais, estações de solo e geradores de demandas. A estrutura desse sistema foi obtida de [1]

Nesse sistema, os satélites podem se comunicar com as estações de solo durante intervalos de tempo denominados janelas de visibilidade. Essas janelas são discretizadas em unidades de tempo e definidas pelo alcance do sistema de telemetria/comunicação entre os satélites e as estações de solo. A deteriorização da qualidade do sinal de telemetria aumenta à medida que o satélite se aproxima dos limites da janela. O intervalo de tempo que contém essas janelas, é denominado horizonte de agendamento.

As estações de solo são responsáveis pelo agendamento das comunicações solicitadas, considerando as janelas disponíveis e restrições de comunicação como, por exemplo, não preemptividade e não redundância. A restrição de não preemptividade significa que uma solicitação de comunicação deve ser completada sem interrupções. Já a restrição de não redundância evita que um satélite se comunique com mais de uma estação de controle ao mesmo tempo, ou que uma estação de controle se comunique com mais de um satélite ao mesmo tempo.

Devido ao número limitado de estações de solo, ao aumento do número de satélites e da demanda de comunicação, torna-se inviável o agendamento manual de solicitações de comunicação [2].

Entretanto, o processo de agendamento de comunicações pode ser modelado matematicamente como um problema de otimização combinatória, cujo objetivo é maximizar a qualidade de tais comunicações em relação à qualidade do sinal de telemetria.

¹victor.desanunes@gmail.com

²felipe@ieav.cta.br

³monica@ieav.cta.br

2 Metodologia

O modelo matemático e as restrições foram definidos em [3]. Este maximiza a qualidade do sinal de comunicação. Tendo o modelo matemático foi implementado um algoritmo genético para encontrar a solução.

Cada indivíduo do algoritmo genético desenvolvido modela uma possível solução do problema, encapsulando as variáveis decisórias.

A função de aptidão é a própria função objetivo, definida pelo modelo de [3]. A seleção por roleta foi utilizada para a seleção de indivíduos para a reprodução. Os operadores genéticos utilizados na etapa de reprodução foram o *crossover* com um único ponto de corte e mutação baseada no deslocamento, para a direita ou para a esquerda, de uma solicitação na janela de visibilidade. Além disso, a cada geração, 5 novos indivíduos eram gerados. E o algoritmo itera por 10000 gerações.

3 Resultados e Discussão

Como forma de avaliar o modelo matemático foram criados dois Estudos de Caso (EC), um mostrado em [4] e o outro em [5]. O primeiro considera que todas as prioridades possuem valor igual a 1.0. Já o segundo considera as prioridades com valores diferentes para cada solicitação. Em ambos os EC, o horizonte de agendamento possui 50 posições e há duas janelas de solicitação, tendo a primeira janela 30 intervalos e a segunda, 31 intervalos.

Para ambos os estudos de caso desenvolvidos o algoritmo implementado encontrou soluções correspondentes a 90% da solução ótima de cada EC.

Novos experimentos precisam ser realizados para que seja possível fazer análises mais específicas sobre as soluções encontradas pelo algoritmo em estudo. E como trabalho futuro é possível citar o uso de outras metodologias de *crossover*, como o *crossover blend*.

Referências

- [1] A. J. V. Álvarez; R. S. Erwin;. *An Introduction to Optimal Satellite Range Scheduling*. Springer Optimization and Its Applications, Springer, 162 p., 2015.
- [2] L. Barbulescu, A. et al, Satellite range scheduling: A comparison of genetic, heuristic and local search, *In: Internation Conference on Parallel Problem Solving From Nature*, 2002. Proceedings... [S.l.], Springer Berlin Heidelberg PPSN2002, 2002.
- [3] V. S. Nunes; F. L. L. Medeiros; M. M. Marchi. Modelagem matemática do problema de otimização do agendamento de comunicações com redes de satélites, *In: Simpósio de Iniciação Científica e Tecnológica do IEAv*, 6, 2017, São José dos Campos. Anais do Simpósio de Iniciação Científica e Tecnológica do IEAv, São José dos Campos: IEAv.
- [4] V. S. Nunes; F. L. L. Medeiros; M. M. Marchi. Otimização do agendamento de comunicações com redes de satélites considerando prioridades, *In: Simpósio de Iniciação Científica e Tecnológica do IEAv*, 7, 2018, São José dos Campos. Anais do Simpósio de Iniciação Científica e Tecnológica do IEAv, São José dos Campos: IEAv.
- [5] V. S. Nunes; F. L. L. Medeiros; M. M. Marchi. Otimização do Agendamento de Comunicações com Redes de Satélites, *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, Agosto/2018, a ser publicado..

Branch-and-Price para o Problema de Empacotamento em Recipientes com Restrições de Classe

Yulle G. F. Borges¹
IC/Unicamp
Flávio K. Miyazawa²
IC/Unicamp
Rafael C. S. Schouery³
IC/Unicamp
Eduardo C. Xavier⁴
IC/Unicamp

No problema de Empacotamento em Recipientes com Restrições de Classe (CCBPP, do inglês Class Constrained Bin Packing Problem), um conjunto de itens de variados tamanhos e classes deve ser empacotado no menor número de recipientes possível, cada um com uma capacidade e com um limite na quantidade de classes diferentes que podem ser acomodadas. Este problema possui aplicações em diversas áreas, como na manufatura de embalagens, na indústria têxtil e em aplicações multimídia. Problemas de empacotamento com restrições de classe já foram estudados na literatura com abordagens de algoritmos de aproximação [2, 3, 7], algoritmos online [4] e mesmo ambas [1]. Entretanto, ao melhor de nosso conhecimento, este é o primeiro trabalho a propor uma abordagem exata para estes problemas.

Neste trabalho, apresentamos um framework baseado em Branch-and-Price para o CCBPP e suas relações com o Problema da Mochila com Restrições de Classe (CCKP, do inglês Class Constrained Knapsack Problem) no qual cada item possui também um valor, e queremos escolher um subconjunto de itens com valor máximo que satisfaça as restrições de capacidade e de classes. Utilizamos adaptações dos modelos de ramificação utilizados por Vance [5] e Vance et al. [6]. Validamos o framework a partir de experimentos com instâncias adaptadas da literatura do Problema de Empacotamento em Recipientes clássico.

Para o CCKP, propomos diversos algoritmos exatos incluindo dois algoritmos de Programação Dinâmica. Estudamos também duas outras variantes do CCKP que se relacionam com a forma de ramificação no problema mestre: para a primeira variante, o CCKP Maximal com Padrões Proibidos, propomos um modelo de PLI e um algoritmo de Branch-and-Bound; para a segunda variante, o CCKP com Carregamentos Completos e Restrições de Disjunção, também propomos um modelo PLI e um algoritmo de Branch-and-Bound.

¹glebbyo@ic.unicamp.br

²fkm@ic.unicamp.br

³rafael@ic.unicamp.br

⁴eduardo@ic.unicamp.br

Referências

- [1] L. Epstein, C. Imreh, and A. Levin. Class constrained bin packing revisited. *Theoretical Computer Science*, 411(34):3073–3089, 2010.
- [2] H. Shachnai and T. Tamir. On two class-constrained versions of the multiple knapsack problem. *Algorithmica*, 29(3):442–467, 2001.
- [3] H. Shachnai and T. Tamir. Polynomial time approximation schemes for class-constrained packing problems. *Journal of Scheduling*, 4(6):313–338, 2001.
- [4] H. Shachnai and T. Tamir. Tight bounds for online class-constrained packing. *Theoretical Computer Science*, 321(1):103–123, 2004.
- [5] P. H. Vance. Branch-and-price algorithms for the one-dimensional cutting stock problem. *Computational Optimization and Applications*, 9(3):211–228, 1998.
- [6] P. H. Vance, C. Barnhart, E. L. Johnson, and G. L. Nemhauser. Solving binary cutting stock problems by column generation and branch-and-bound. *Computational Optimization and Applications*, 3(2):111–130, 1994.
- [7] E. C. Xavier and F. K. Miyazawa. The class constrained bin packing problem with applications to video-on-demand. *Theoretical Computer Science*, 393(1):240–259, 2008.

Modelo de Otimização Multiobjetivo para o Planejamento da Rede Reversa de Aparas de Papel

Victor Kenishi de Carvalho Santos¹

Universidade Federal de São Carlos - Campus Sorcaba (UFSCar - Sorocaba)

Eli Angela Vitor Toso²

Universidade Federal de São Carlos - Campus Sorcaba (UFSCar - Sorocaba)

A reciclagem de papel tem aumentado nos últimos anos, a taxa de recuperação está em cerca de 67% nos Estados Unidos [1], 72,5% na Europa [2] e 63,4% no Brasil [3]. As aparas de papel e papelão representam 34% de todos os resíduos coletados por sistemas de coleta seletiva no Brasil [4].

A Política Nacional de Resíduos Sólidos Brasileira (PNRS, lei nº 12.305/2010) institui a coleta seletiva e a responsabilidade compartilhada, reconhecendo o resíduo sólido reutilizável e reciclável como bem econômico e de valor social. A PNRS incentiva a criação e desenvolvimento de cooperativas ou associações de catadores como instrumento de geração de emprego e renda. Atualmente, as cooperativas de catadores são responsáveis por 99% de toda a coleta seletiva no país [5]. No entanto, não existem ações para coordenar as atividades das cooperativas e garantir participação seja mais efetiva na agregação de valor aos materiais. A maioria das cooperativas, por exemplo, não consegue coletar material suficiente para manter acordos de comercialização, apenas 20% das aparas são comercializadas diretamente com recicladoras [4] e o restante é vendido para empresas intermediárias, que pagam valores menores.

Uma alternativa para esse problema consiste na abertura de centros de armazenagem e consolidação considerando uma rede de cooperativas. A abertura desses centros intermediários incorre em custos de instalação e manutenção, além de custos de transporte. O planejamento da rede deve considerar as decisões de onde abrir centros intermediários e como coletar e distribuir, considerando demanda e lote mínimo das recicladoras. Dependendo da localização dos centros, o fluxo de material pode resultar em maiores distâncias percorridas. Porém, como as diretrizes da PNRS visam aumentar a reciclagem e reduzir o impacto ambiental, além de avaliar a viabilidade econômica, devem ser considerados os níveis de poluição do transporte.

Neste sentido, propomos um modelo de localização e transporte multiproduto, multiperíodo e multiobjetivo com aspectos socioeconômicos e ambientais: maximização das sobras líquidas das cooperativas; minimização do impacto ambiental, medido a partir de parâmetros da Análise do Ciclo de Vida (ACV) – Toxicidade Humana, Medida de Mudança Climática e Consumo de Combustível Fóssil.

A partir de dados do estado de São Paulo, foram realizados testes para validação do modelo e avaliação da proposta de rede de cooperativas. Os resultados mostram que a abertura de centros de armazenagem pode aumentar as sobras líquidas das cooperativas em quase 40%. Mesmo em um cenário onde a prioridade seja minimizar o impacto ambiental, a abertura de centros

¹vkenishi@gmail.com

²eli@ufscar.br

intermediários resulta em melhor desempenho financeiro para as cooperativas. No entanto, a decisão de otimizar a rede para um melhor retorno financeiro incorre em um aumento de 6500 vezes no impacto ambiental quando comparada a otimização dos critérios ambientais. Para combinar os objetivos, utilizou-se o método ϵ -constraint. A fronteira de Pareto resultante mostra que algumas soluções apresentam um grande aumento do impacto ambiental em detrimento de um pequeno aumento das sobras líquidas, indicando uma boa solução de compromisso entre os objetivos.

Referências

- [1] American Forest & Paper Association. *U.S. Paper Recovery Rate Reaches Record 67.2 Percent in 2016*. Disponível em: <http://www.afandpa.org/media/news/2017/05/09/u.s.-paper-recovery-rate-reaches-record-67.2-percent-in-2016>. Acesso em 13 de junho de 2018.
- [2] European Paper Recycling Council *Press Release: Europe's paper recycling rate reaches new heights - 72,5%*. Disponível em: <http://www.paperforrecycling.eu/press-release-europes-paper-recycling-rate-reaches-new-heights-72-5-renewed-focus-improving-quality/>. Acesso em 13 de junho de 2018.
- [3] Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2015*. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2015.pdf>. Acesso em 27 de junho de 2017.
- [4] Compromisso Empresarial para Reciclagem. *Cempre Review 2013*. Disponível em: <http://cempre.org.br/artigo-publicacao/artigos>. Acesso em 17 de junho de 2017.
- [5] Portal Brasil. *Reciclagem atinge apenas 8% dos municípios brasileiros*. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2012/04/reciclagem-atinge-apenas-8-porcento-dos-municipios-brasileiros>. Acesso em 15 de março de 2017.

O Problema de Dimensionamento de Lotes Integrado com o Corte de Estoque sob Incerteza de Demandas

Vinícius Loti¹

UNICAMP

Eduardo Curcio²

Universidade do Porto

Flávio Miyazawa³

UNICAMP

Elsa Silva⁴

Universidade do Porto

Pedro Amorim⁵

Universidade do Porto

Problemas de corte de estoque e de dimensionamento de lotes são problemas clássicos no campo da pesquisa operacional, que têm sido estudado por mais de 50 anos [1]. O problema de corte de estoque visa cortar placas retangulares para a obtenção de uma demanda de itens retangulares, visando minimizar o número de placas utilizadas. Já o problema de dimensionamento de lotes, é um problema de planejamento da produção que consiste em determinar para cada período de tempo quantos itens serão produzidos, de forma a otimizar uma dada função objetivo.

Recentemente, os problemas de corte de estoque e de dimensionamento de lotes têm sido considerados simultaneamente, não somente pelo avanço de hardware e avanços algorítmicos, mas também devido a sua importância conjunta em muitas indústrias, como as de papel, de tecido e de móveis. Apesar de existirem muitos trabalhos que consideram o problema integrado e com diferentes restrições práticas, existe um número relativamente baixo de trabalhos na literatura que incorporam incerteza no problema integrado.

Considerando a escassez de trabalhos na literatura que consideram incertezas no problema, a idéia principal deste trabalho é resolver de forma eficiente o problema de dimensionamento de lotes integrado com o problema de corte de estoque bidimensional sob incerteza de demandas. Para tanto, foram desenvolvidos um modelo determinístico, um modelo estocástico de dois estágios e um modelo de otimização robusta. Os modelos propostos são baseados em padrões de corte para o problema de corte de estoque, o que implica em um número exponencial de variáveis. Sendo assim, para os modelos com incertezas, propomos um algoritmo de geração de colunas. Experimentos computacionais são realizados para verificar a eficiência dos algoritmos e modelos propostos.

¹vini.lot@gmail.com

²efc@inesctec.pt

³flm@ic.unicamp.br

⁴emsilva@inesctec.pt

⁵amorim.pedro@fe.up.pt

Referências

- [1] G. Melega, S. Araújo e R. Jans. *Classification and literature review of integrated lot sizing and cutting stock problems*. Relatório Técnico, CIRRELT-Universidade de Montréal, Canadá, 2017.

Planejamento Da Rede De Distribuição De Medicamentos Com Diferentes Alíquotas De Tributação Do ICMS

Cindy Marcela Lobo Ramos¹

UFSCar, Sorocaba, SP

Eli Angela Vitor Toso²

UFSCar, Sorocaba, SP

O ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços) é um imposto estadual não cumulativo que é aplicado em todas as etapas de agregação de valor dos produtos na cadeia produtiva. Na indústria farmacêutica, devido ao alto valor agregado dos produtos e aos altos custos de armazenagem e transporte, o planejamento da rede logística envolve maiores desafios, sendo que o ICMS tem um impacto substancial no valor dos medicamentos. No Brasil as alíquotas de ICMS dependem do estado de origem dos produtos e do seu valor agregado (imposto devido menos crédito das operações anteriores). Isso significa que o imposto depende da localização das instalações da cadeia de suprimentos como, por exemplo, dos Centros de Distribuição (CDs). Neste estudo pretende-se investigar o trade-off entre custos logísticos (instalação e transporte) e custos tributários de ICMS, considerando a possibilidade de instalação de centros de distribuição (CDs) em diferentes estados brasileiros. A partir dos resultados da dissertação de mestrado de Jalal (2017), observa-se que o valor total de ICMS na distribuição de medicamentos é muito elevado quando comparado aos custos logísticos, impondo a necessidade de uma avaliação mais detalhada do trade-off entre estes custos. Neste trabalho propomos um modelo mais simplificado com o objetivo de focar os aspectos estratégicos para melhorar a análise dos riscos associados às questões tributárias. O modelo proposto aborda decisões de localização de CDs com fluxos multiproduto, considerando diferentes alíquotas de tributação do ICMS e benefícios fiscais concedidos por alguns estados. Testes iniciais mostram como as decisões de localização dependem das alíquotas, do valor agregado dos produtos e das distâncias envolvidas que impactam nos custos de transporte. Especificamente em testes com produtos de diferente valor agregado, os resultados mostram que os custos logísticos são mais representativos para produtos de menor valor agregado. O contrário ocorre no caso de produtos com maior valor agregado, ou seja, os custos com impostos são dominantes. Nos próximos passos desta pesquisa de mestrado estão previstos experimentos com variações do modelo matemático em uma perspectiva multiobjetivo para avaliação da relação entre os parâmetros associados ao planejamento logístico e os parâmetros do planejamento tributário.

¹cindylobo25@gmail.com

²eli@ufscar.br

Referências

[1] A. Jalal. Modelo para a integração de decisões de localização e transporte na distribuição de medicamentos. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção, Ufscar, (2017).

Planejamento Integrado para Aquisição e *Download* de Dados por uma Constelação de Satélites

Maria José Pinto¹

Instituto de Estudos Avançados (IEAv)

Mônica Maria De Marchi²

Instituto de Estudos Avançados (IEAv)

Ana Isabel Martins Botto de Barros³

Netherlands Applied Scientific Institute (TNO)

Os avanços tecnológicos na área espacial têm refletido no aumento do uso operacional dos sistemas espaciais em diferentes áreas de atuação como em navegação, comunicação, defesa e segurança. Isso é particularmente relevante para o Brasil que se encontra em estágio emergente em termos de gerenciamento e desenvolvimento de tecnologias de sistemas espaciais e tem buscado enfatizar, por meio do Programa Nacional de Atividades Espaciais (PNAE), suas prioridades e interesse estratégico no domínio das tecnologias espaciais visando fortalecer a autonomia e soberania do país. Este interesse também vem de encontro com a solicitação da Estratégia Nacional de Defesa (END) de uma maior capacidade de monitoramento das fronteiras e do vasto território brasileiro rico em recursos naturais.

Dentro desse contexto, o presente trabalho busca contribuir com as pesquisas na área espacial para apoiar o processo de decisão referente ao planejamento de uma constelação de satélites para adquirir e fazer o download de dados para as estações de solo, visando monitorar locais de interesse (alvos) com diferentes prioridades, dado um horizonte de planejamento.

De nosso conhecimento, são poucos os trabalhos que tratam os problemas de aquisição e download de forma integrada [1] [3], [4]. Entretanto, uma solução não integrada pode não ser aplicável na prática para um horizonte de planejamento maior, quando determinados requisitos dos cenários precisam ser garantidos. Por exemplo, em um monitoramento, a detecção precoce de uma situação emergencial é fundamental. Mas, para isto, pode ser desejável obter mais informações de um mesmo alvo durante o horizonte de planejamento para que seja possível identificar diferenças. Desta forma, o sequenciamento precisa respeitar o intervalo mínimo de tempo entre observações sucessivas de um mesmo alvo (RT - *revisit time*) ou o tempo limite para que as imagens coletadas estejam disponíveis na estação de solo (DT - *due time*) para que permitam a comparação desejada. Para atender estes requisitos, o download dos dados precisa ser também levado em consideração no planejamento. Ainda, como um novo dado somente pode ser adquirido caso a capacidade do satélite não seja violada, se os problemas de aquisição e download forem tratados simultaneamente haverá a possibilidade de descarregar dados durante o horizonte de planejamento permitindo adquirir um número maior de informações.

O problema foi modelado matematicamente em [2] onde, dados os diferentes valores (prioridades) de cada alvo, o objetivo consistiu em maximizar o valor dos dados coletados respeitando

¹maju@ieav.cta.br

²monica@ieav.cta.br

³ana.barros@tno.nl

restrições referentes às janelas de visibilidade, à precedência entre aquisição e download, à capacidade de tempo de processamento e aos requisitos RT e DT.

Alguns aperfeiçoamentos foram identificados no modelo apresentado em [2] para permitir uma aplicação na prática. O modelo aperfeiçoado será apresentado, além dos resultados obtidos ao aplicar o modelo em diferentes cenários de interesse que tratam questões ambientais e de segurança e que envolvam monitoramento constante para permitir ações de mitigação como em áreas de monitoramento de fronteira, de desmatamento e de derramamento de óleo. A Figura 1 dá uma ideia da localização e extensão de área dos cenários considerados.

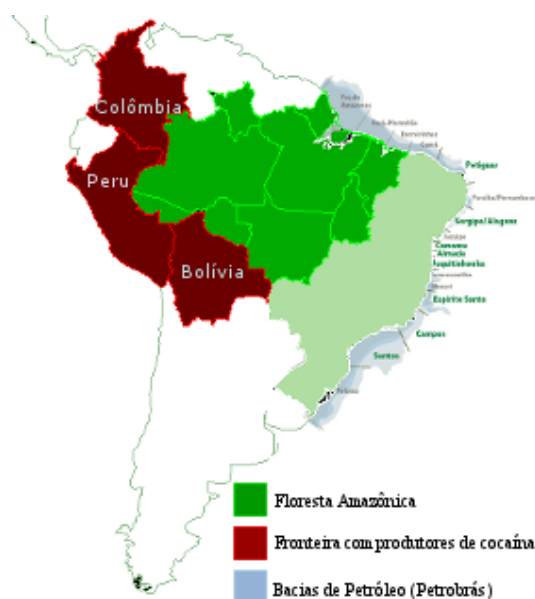


Figura 1: Cenários de interesse.

O sequenciamento obtido, além de gerar um planejamento para uma constelação de satélites existente, permitirá identificar áreas de vulnerabilidade e apoiar planejamentos futuros referentes a novas aquisições.

Referências

- [1] H. Kim e Y. K. Chang. Mission scheduling optimization of SAR satellite constellation for minimizing system response time, *Aerospace Science and Technology*, 40: 17-32, 2015.
- [2] M. J. Pinto, A. I. Barros, R. Noomen, P. H. A. J. M. van Gelder e T. Lamballais Tessensohn. *A New Model Proposal for Integrated Satellite Constellation Scheduling within a Planning Horizon given Operational Constraints*. In: Proceedings of the 7th International Conference on Operations Research and Enterprise Systems: ICORES, p. 312-319, 2018.
- [3] P. Wang e G. Reinelt. Solving the Earth Observing Satellite Constellation Scheduling Problem by Branch-and-Price, *Operations Research Proceedings 2010*, 491-496, 2011.
- [4] P. Wang, G. Reinelt, P. Gao, P. e Y. Tan. A model, a heuristic and a decision support system to solve the scheduling problem of an earth observing satellite constellation, *Computers Industrial Engineering*, 61: 322-335, 2011.

Planejamento Tático de Redes de Distribuição Farmacêuticas

Aura Jalal Osorio¹

Universidade Federal de São Carlos, São Carlos

Eli Vitor Toso²

Universidade Federal de São Carlos, São Carlos

Reinaldo Morabito Neto³

Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba

O setor farmacêutico é singular pelos altos níveis de investimento e de faturamento, assim como por sua importância para a sociedade. Em 2016, o mercado mundial de medicamentos faturou US\$ 967 bilhões e, a expectativa é que alcancem US\$ 1,5 trilhão em 2021 [1]. Cada vez, novos desafios são colocados ao setor farmacêutico a expectativa de vida crescente da população, pressões sobre os preços pelos governos e consumidores e uma regulamentação legal e técnica mais rigorosa em todas as operações de cadeia - produção, armazenamento e transporte.

Os medicamentos são produtos sensíveis aos fatores ambientais e devem ser armazenados e transportados em condições de temperatura especificadas pelos fabricantes, a fim de preservar suas propriedades. Nesse sentido, alguns medicamentos precisam de refrigeração ou de congelamento, condição chamada cadeia fria, que traz desafios adicionais na distribuição. Por outro lado, as cargas de medicamentos são suscetíveis a roubos, devido ao valor dos produtos e facilidade de recepção. Por isso, as empresas investem na contratação de serviços de seguradoras, serviços de escolta armada e uso de tecnologias para monitorar a rota dos veículos, o qual implica custos de transporte adicionais. Observando estas características, este trabalho foca o planejamento tático da distribuição de medicamentos.

A pesquisa é incentivada pela escassez de trabalhos no setor, poucos trabalhos na literatura apresentam estudos de caso sobre a rede de distribuição da indústria farmacêutica, devido às dificuldades na coleta de dados ou à indisponibilidade dos mesmos [2]. Apenas o trabalho de [3] aborda um problema aparecido, visando minimizar os custos totais e a demanda não atendida, envolvendo decisões estratégicas de localização e dimensionamento de plantas e CDs e decisões táticas de produção, fluxo e estoque de produtos para múltiplos períodos, porém não considera as especificidades da rede de distribuição.

Considera-se uma rede de distribuição de múltiplos produtos, que apresentam diferenças em volume, peso, preço e demanda, assim como a condição de temperatura requerida para o transporte, cadeia fria ou temperatura ambiente. A distribuição de produtos pode ser realizada através de várias alternativas de transporte, diferenciadas por modal (rodoviário e aéreo), tipos de frete (fracionado ou dedicado/completo) e acondicionamento de carga (temperatura ambiente ou cadeia fria). No modal rodoviário, o frete pode ser fracionado, cujo custo depende do peso da mercadoria; ou pode ser dedicado/completo, cujo custo depende da capacidade do veículo utilizado (em peso e/ou volume). No modal aéreo, o frete é somente fracionado, sendo que o custo

¹auramaria.jalal@gmail.com

²eli@ufscar.br

³morabito@ufscar.br

depende do peso da mercadoria enviada; e adicionalmente existe um custo para o transporte rodoviário entre o CD e o aeroporto de origem, e entre o aeroporto de destino e o cliente. Quando se trata de transporte de produtos em cadeia fria, independente do modal e frete, tem-se um custo a mais pelo consumo de combustíveis e gás refrigerante. Ponderando estes aspectos, a empresa define com as transportadoras os contratos e custos de transporte para cada trecho. Além disso, é indesejável o transporte de cargas (fracionada ou dedicada) com valor superior aos limites estabelecidos. Além disso, se estabelece um limite monetário, acima do qual a carga transportada com frete dedicado deve ser escoltada, incorrendo em custos de segurança por uso de escoltas.

Os custos de armazenamento de produtos em CDs dependem só da quantidade de itens e da condição de temperatura requerida, isto é, armazenamento em local a temperatura ambiente ou em câmaras frias. Os produtos com vendas regulares, além de ser estocados em CDs, podem ser colocados em estoque nos clientes, visando atender demanda de períodos futuros, sob um custo de antecipação. Estes produtos também podem ser entregues com atraso, caso não seja possível atender a demanda no período demandado. Os produtos mais especializados que também são mais custosos, por exemplo, medicamentos para doenças complexas, devem ser entregues no período demandado, podendo incorrer em perdas de venda. Ou seja, não se admite atraso ou antecipação na entrega destes produtos.

Desta forma, o problema planejamento tático da rede de distribuição de medicamentos consiste em decidir sobre fluxos de produtos entre instalações e seleção de alternativas de transporte a utilizar (modal, tipo de frete e tipo de veículo, uso de escoltas); estoque em CDs, estoque em clientes; e atendimento da demanda (atraso e venda perdida).

Neste contexto, propõe-se um modelo de programação linear inteira mista para auxiliar tomada de decisões táticas como definição de fluxos e alternativas de transporte a utilizar (modal, tipo de frete e tipo de veículo, uso de escoltas), estoque em CDs, estoque consignado nos clientes e atendimento da demanda (atraso, venda perdida). A abordagem é utilizada para resolver instâncias práticas baseadas em dados reais da multinacional do setor farmacêutico.

Para testar aplicabilidade a contextos práticos, a formulação matemática foi utilizada para resolver uma instância prática construída com dados de uma multinacional do setor farmacêutico, que opera no Brasil, terceirizando as operações de armazenamento e transporte com um operador logístico. De forma geral, o modelo proposto mostrou-se como uma ferramenta apropriada para auxiliar nas decisões no planejamento tático da rede de distribuição farmacêutica. Nos próximos passos da pesquisa, serão desenvolvidas heurísticas para encontrar melhores soluções e/ou ajudar na convergência do CPLEX, na resolução de instâncias práticas.

Referências

- [1] Interfarma. Perspectivas do Mercado Farmacêutico para 2018 <https://www.interfarma.org.br/noticias/1494>, 2018.
- [2] M.T. Melo, S. Nickel e F. Saldanha-Da-Gama. Facility Location and Supply Chain Management – A Review. *European Journal of Operational Research* 196:401–412, 2009.
- [3] M. Mousazadeh, S.A. Torabi e B. Zahiri. A Robust Possibilistic Programming Approach for Pharmaceutical Supply Chain Network Design. *Computers and Chemical Engineering* 82:115–128, 2015.

Problema de corte de estoque bidimensional com sobras aproveitáveis e incerteza na demanda

Douglas Nogueira do Nascimento¹

Departamento de Engenharia de Produção - Faculdade de Engenharia de Bauru - Universidade Estadual Paulista - UNESP

Adriana Cristina Cherri²

Departamento de Matemática - Faculdade de Ciências - Universidade Estadual Paulista - UNESP

José Fernando Oliveira³

Departamento de Engenharia e Gestão Industrial - Faculdade de Engenharia - FEUP - Universidade do Porto - Portugal

O problema de corte de estoque (PCE) é um dos problemas mais estudados na literatura científica. Isso se deve não apenas à sua dificuldade de resolução (é um problema de otimização combinatória NP-difícil), mas também à sua enorme aplicabilidade prática em múltiplos setores industriais, em que a minimização do desperdício de matérias-primas é fundamental para o desempenho econômico e ambiental das empresas.

Apesar da vasta literatura sobre este problema, há ainda lacunas importantes no que diz respeito à consideração de características práticas, fundamentais para a adoção dos métodos propostos na literatura pelas empresas. Uma dessas características é a possibilidade de aproveitar no futuro sobras de processos de corte, ou seja, nem todo o material que sobra de um processo de corte será necessariamente considerado desperdício. Neste caso, o processo de corte pode ser planejado de forma a gerar sobras com elevada probabilidade de utilização futura, minimizando as perdas em uma perspectiva multiperíodo.

Uma das dificuldades de planejar o processo de corte para o futuro é que nem sempre a demanda futura é conhecida com exatidão. Assim, ao problema de corte de estoque pode-se acrescentar a dificuldade do planejamento dos cortes com incerteza na demanda.

Neste trabalho lidamos com o problema de corte bidimensional com aproveitamento de sobras e incerteza na demanda futura, o qual nunca foi abordado na literatura. O trabalho de [1] abordou o problema de corte de estoque unidimensional com incerteza, mas sem aproveitamento de sobras. Referente ao problema de corte de estoque bidimensional com aproveitamento de sobras, os poucos trabalhos publicados não envolvem questões de incerteza.

Nos problemas de corte bidimensionais com sobras aproveitáveis (2DPCESA), além da dificuldade de resolução inerente dos problemas de corte, existem dificuldades relacionadas a sua geometria, pois é preciso definir, de forma automática, quando dois itens posicionados em uma placa se sobrepõem, estão separados ou se tocam. Outra dificuldade é posicionar os itens de forma que estejam completamente contidos na placa a ser cortada.

Para uma melhor compreensão do problema de corte bidimensional, considere o exemplo da Figura 1, no qual toda sobra com dimensões superiores a (15 x 10) pode ser utilizado no

¹douglas.nogueira@unesp.br

²adriana@fc.unesp.br

³jfo@fe.up.pt

atendimento de demandas futuras. As duas placas padronizadas disponíveis em estoque possuem dimensões (60×55) e (45×52) . As dimensões dos itens a serem cortados são: $(L1, W1) = (15 \times 25)$; $(L2, W2) = (21 \times 14)$; $(L3, W3) = (12 \times 13)$ e $(L4, W4) = (24 \times 21)$.

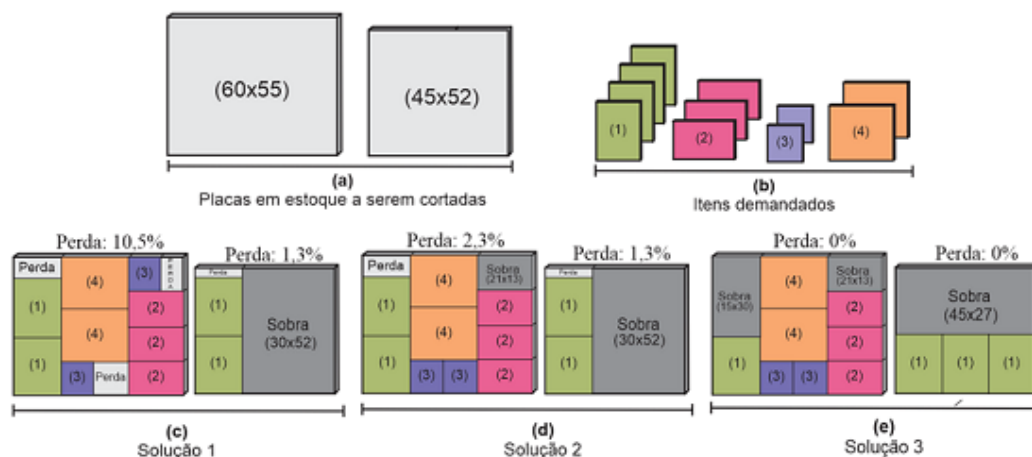


Figura 1: Dados de um problema de corte bidimensional e soluções alternativas.

Fonte: [3]

A Figura 1 apresenta três possíveis soluções obtidas por cortes guilhotinados (quando aplicados em uma placa, geram dois novos retângulos) que geram a mesma sobra total, ou seja, a soma das áreas das sobras nas placas cortadas. Porém, a Solução 2 pode ser preferível à Solução 1, uma vez que, com um rearranjo de itens dentro desta solução, a perda é menor. Na Solução 3 a perda foi eliminada, porém, o número de sobras geradas aumentou, ou seja, esta solução adia o desperdício com a demanda atual, na expectativa de que demandas futuras possam ser mais bem adequadas as sobras geradas.

Um modelo matemático baseado em [2] está sendo desenvolvido para a representação do problema de corte bidimensional com sobras aproveitáveis. Devido ao alto grau de complexidade e à grande quantidade de variáveis inteiras envolvidas neste problema, resolvê-lo por métodos exatos se torna inviável computacionalmente, mesmo para instâncias pequenas. Desta forma, recorre-se ao desenvolvimento de procedimentos heurísticos que, embora não garantam otimalidade, podem apresentar soluções de muito boa qualidade. O método de solução que está sendo desenvolvido é baseado na heurística *relax-and-fix*. Testes computacionais estão sendo realizados e os resultados preliminares serão mostrados na sessão de apresentações orais do evento, que ocorrerá em outubro de 2018.

Referências

- [1] D. J. Alem, P. A. Munari, M. N. Arenales e P. A. V. Ferreira. On the cutting stock problem under stochastic demand, *Annals of Operations Research*, 179: 169-186, 2010.
- [2] M. N. Arenales, A. C. Cherri, D. N. Nascimento e A. C. G. Vianna. A new mathematical model for the cutting stock/leftover problem, *Pesquisa Operacional*, 35: 1-14, 2015.
- [3] A. C. Cherri. Algumas extensões do problema de corte de estoque com sobras de material aproveitáveis, Tese de doutorado em Ciências, USP, (2009).

Problema de Corte de Estoques com Modos Alternativos de Manufatura

Felipe Kesrouani Lemos¹

FEB/UNESP - Bauru

Adriana Cristina Cherri²

FC/UNESP - Bauru

Silvio Alexandre Araújo³

IBILCE/UNESP - São José do Rio Preto

Em determinados contextos de sistemas de produção, mais de um conjunto de recursos podem ser escolhidos para executar uma mesma tarefa [5, 7]. Isso é particularmente comum na área de projetos, mas também pode ocorrer em sistemas fabris, seja pela possibilidade de múltiplas combinações de classes de máquinas estarem disponíveis para executar uma certa ordem de produção [6]; ou ainda pela possibilidade de múltiplas combinações de matérias-primas, como é o caso da fabricação de postes de concreto armado, que é motivação para este trabalho.

O problema de múltiplos modos de manufatura é considerado interessante tanto para pesquisadores quanto para profissionais da área [8], havendo aplicações nas áreas de programação de processadores de computadores [2, 4], serviços de saúde, manutenção, limpeza e auditorias de qualidade [1], além de atribuição de força de trabalho [3].

Este trabalho aborda este problema integrado a um processo de corte, tendo como motivação uma fábrica de postes de concreto armado do tipo “duplo-T” no interior do estado de São Paulo. Os produtos desta indústria são fabricados através do recobrimento com concreto de uma armadura de aço, dimensionada para suportar uma determinada carga especificada em projetos elétricos. O dimensionamento da armadura longitudinal é feito através de cálculo estrutural, sendo possível fabricá-la com diversas combinações de tamanhos e espessuras de barras de aço.

Dada a existência de diversas espessuras de barras de aço disponíveis e a possibilidade de combinação de mais de uma espessura em um mesmo produto, há múltiplos modos alternativos de se fabricar cada produto final. Ao analisar um produto isoladamente, trata-se de uma decisão de fácil solução, considerando que os custos das diferentes matérias-primas estão disponíveis. Entretanto, como tais segmentos são obtidos do corte de barras de aço, pode existir uma combinação de modos de fabricação que otimize o uso global de matéria-prima, ainda que utilize um modo de fabricação que não é o mais vantajoso quando observado apenas seu custo unitário de matéria-prima. Isto significa que, dado um *mix* de produção a ser fabricado, podem existir combinações que minimizam o desperdício de matéria-prima global, ainda que não escolha a alternativa mais econômica para um dado produto. Portanto, há potencial de ganho global na integração entre o problema de corte de estoque com o problema de manufatura com modos alternativos.

¹felipekemos@gmail.com

²adriana@fc.unesp.br

³saraujo@ibilce.unesp.br

Foi proposta uma formulação matemática através de programação linear inteira, para minimizar o custo total de um conjunto de produtos finais a serem atendidos. Para isso, é decidido a quantidade de unidades manufaturadas de acordo com cada configuração possível e a quantidade de padrões de corte de cada tipo de objeto para atender à demanda correspondente. Como método de solução, propõe-se uma geração de colunas que acrescenta padrões interessantes para as diferentes matérias-primas disponíveis.

Os resultados foram gerados em três contextos. Inicialmente, um exemplo ilustrativo mostra o valor da integração em relação a uma abordagem não-conjunta (decisão dos modos sem levar em conta a otimização do corte). Posteriormente, um exemplo real apresentou uma economia de 8,1% em relação à abordagem empírica da empresa. E, por fim, instâncias aleatórias foram geradas para explorar a influência dos parâmetros na dificuldade do problema. Neste último conjunto de testes, 405 instâncias foram geradas, com um *gap* médio de 5,1% em 33,9 segundos de tempo de PCU.

Referências

- [1] T. F. Abdelmaguid, M. A. Shalaby e M. A. Awwad. A tabu search approach for proportionate multiprocessor open shop scheduling, *Computational Optimization and Applications*, 58: 187-203, 2014.
- [2] L. Bianco, J. Blazewicz, P. Dell’Olmo e M. Drozdowski. Preemptive multiprocessor task scheduling with release times and time windows, *Annals of Operations Research*, 70: 43-55, 1997.
- [3] F. D. Chou. Particle swarm optimization with cocktail decoding method for hybrid flow shop scheduling problems with multiprocessor tasks, *International Journal of Production Economics*, 141: 137-145, 2013.
- [4] F. D. Chou. Scheduling multiprocessor tasks: an overview, *European Journal of Operational Research*, 94: 215-230, 1996.
- [5] T. S. Kyriakidis, G. M. Kopanos e M. C. Georgiadis. MILP formulations for single-and multi-mode resource-constrained project scheduling problems, *Computers chemical engineering*, 36: 369-385, 2012.
- [6] A. Riise, C. Mannino e L. Lamorgese. Recursive logic-based benders decomposition for multi-mode outpatient scheduling, *European Journal of Operational Research*, 255: 719-728, 2016.
- [7] J. Weglarz, J. Jozefowska, M. Mika, G. Waligora. Project scheduling with finite or infinite number of activity processing modes – a survey, *European Journal of Operational Research*, 208: 177-205, 2011.
- [8] Z. Zhang e J. Xu. Bi-level multiple mode resource-constrained project scheduling problems under hybrid uncertainty, *Journal of Industrial and Management Optimization*, 12: 565-593, 2016.

Problema de empacotamento de largura de banda sob demanda incerta: Uma abordagem baseada em simulação

Renan Brito Butkeraites¹

Universidade Federal de São Paulo e Instituto Tecnológico de Aeronáutica

Leduino de Salles Neto²

Universidade Federal de São Paulo

Michel Gendreau³

Polytechnique Montreal e CIRRELT

Considerar a incerteza paramétrica ao fazer a otimização pode levar a melhorias na qualidade das soluções e impedir que o processo de tomada de decisões seja instável ou mesmo ineficaz ao longo do tempo [1, 2]. O problema de *alocação de chamadas* com demanda ponto-a-ponto em uma rede capacitada surge no contexto de telecomunicações. Cada uma dessas *chamadas* podem ser chamadas telefônicas, vídeo ou transmissão de dados em geral. Elas podem ser atribuídas a no máximo um caminho na rede, restritos à capacidade de largura de banda do canal. A este processo é dado o nome de **Problema de empacotamento de largura de banda** (BPP). Cada chamada a ser alocada tem uma demanda incerta por largura de banda e um lucro associado à sua alocação. O objetivo é maximizar o lucro associado ao fluxo de chamadas na rede, onde cada chamada é alocada em um único caminho. O modelo matemático que será abordado é apresentado por [3], para mais detalhes, por favor, consulte-o.

Duas topologias diferentes são consideradas como representação de uma rede de telecomunicações e as matrizes de adjacência são representadas na Tabela 1. Todos os arcos têm a mesma capacidade $c_{ij} = 100$. Para cada instância, 40 chamadas (s_i, t_i, \bar{b}_i) são geradas aleatoriamente com valores de largura de banda nominal \bar{b}_i sendo inteiros entre 10 e 50. São usados dois níveis de incerteza para definir intervalos em torno da demanda de largura de banda nominal, ou seja, $\alpha_i = 0.3$ e $\alpha_i = 0.5$. O lucro p_i para cada chamada um valor inteiro é escolhido aleatoriamente entre 10 e 20. Cada problema é resolvido usando o CPLEX 12.8 em um Intel Core i5-8250U de 1.60Ghz. A comparação será feita usando a notação KN para identificar a abordagem de [3] e a SIROM para abordar a nova metodologia.

A primeira instância usa a topologia T1 com 30% de incerteza. A Figura 1 mostra os gráficos associados ao valor da função objetivo para cada solução e cada método testado. É possível ver que o método SIROM encontrou uma fronteira melhor do que o KN, mas não conseguiu encontrar uma solução que permaneça viável no pior cenário possível.

Depois que a SIROM foi aplicada para resolver o BPP sob demanda incerta, foi possível comparar os resultados com a metodologia baseada na abordagem de otimização robusta de Bertsimas e Sim. Os resultados mostram que o método proposto apresenta melhor desempenho do que o apresentado na literatura pesquisada.

¹Bolsista CNPq - rbritobut@gmail.com

²luiz.leduino@gmail.com

³michel.gendreau@polymtl.ca

Tabela 1: Matrizes de adjacência de duas topologias de rede com 10 nós interconectados.

Primeira Topologia (T1)										Segunda Topologia (T2)										
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Nó	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	
0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	
1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	2	0	1	0	1	1	0	0	1	0	
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	3	0	0	1	0	0	0	1	1	0	
0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	4	0	1	1	0	0	0	0	0	1	
1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	5	1	0	0	0	0	0	0	0	1	
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	1	0	0	0	1	1	
1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	7	0	0	1	1	0	0	1	0	0	
0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	8	1	0	0	0	0	1	0	0	1	
1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	9	1	1	0	0	1	1	0	0	1	

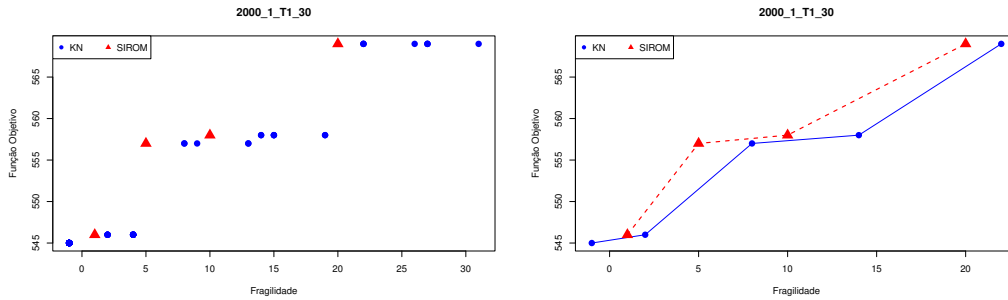


Figura 1: Comparação de função objetivo e valor de fragilidade das soluções.

Tabela 2: Comparação de desempenho entre o método SIROM e KN quando aplicados nas topologias T1 e T2 com níveis de incerteza de 30% e 50%.

Instância	$ Pf(P) $	min		max		média		d.p.	
		f	β	f	β	f	β	f	β
SIROM T1.30	4	546	1	569	20	557.50	9.00	9.40	8.21
KN T1.30	5	545	-1	569	22	555.00	9.00	9.87	9.27
SIROM T1.50	6	577	4	605	15	591.17	9.50	9.06	4.59
KN T1.50	5	572	0	605	19	587.40	9.20	14.06	7.79
SIROM T2.30	10	557	3	600	36	573.30	15.90	14.24	10.03
KN T2.30	9	533	-3	590	26	560.56	12.00	21.27	9.14
SIROM T2.50	10	550	3	601	42	572.80	19.00	16.20	12.09
KNKN T2.50	7	543	0	601	42	570.29	18.71	21.12	14.94

Agradecimentos Este trabalho foi parcialmente custeado pelo CNPq e pelo Governo do Canada através do programa de bolsas de estudos ELAP.

Referências

- [1] A. Ben-Tal, L. E. Ghaoui, and A. Nemirovski. *Robust optimization*. Princeton University Press, Princeton, 2009.
- [2] A. Ben-Tal, and A. Nemirovski. Robust solutions of Linear Programming problems contaminated with uncertain data, *Mathematical Programming*, 88: 411-424, 2000.
- [3] O. Klopfenstein, and D. Nace. Cover inequalities for robust knapsack sets - Application to the robust bandwidth packing problem, *Networks*, 59: 59-72, 2012.

Problema Integrado de Dimensionamento, Sequenciamento de Lotes e Corte de Estoque

Gislaine Mara Melega¹

UFSCar - Departamento de Engenharia de Produção, 13565-905, São Carlos, SP

Silvio A. de Araujo²

UNESP - Departamento de Matemática Aplicada, 15054-000, São José do Rio Preto, SP

Reinaldo Morabito³

UFSCar - Departamento de Engenharia de Produção, 13565-905, São Carlos, SP

1 Introduction

The idea of an integrated lot-sizing and cutting stock problem is to consider, simultaneously, the decisions related both problems so as to capture the interdependency between these decisions in order to obtain a better global solution. Most of the cutting plans described by the current models of the cutting stock problems provides a set of cutting patterns and the corresponding frequencies of the patterns. However, in some settings, it becomes necessary to determine a production plan that also indicates the optimal sequence of the cutting patterns. The inclusion of the pattern sequence in the model may be related to a specific objective function, usually related to a practical application, such as, the minimization of the knives changes, where each insertion and removal of knives takes time to be processed ([5]); the minimization of open stacks, i.e. the number of mounting compartments around the cutting machine, in which a stack remains open until the last cutting pattern that contains the piece of the stack is cut ([6]; the minimization of the order spread, which refers to the number of open stacks during the cutting process ([3]); orders due dates, which refers to the necessity of filling the orders before a given due date ([1]). It is worth to mention that this sequencing problem which emerges as an extension to cutting stock problem, has been extensively addressed in lot-sizing problems. As the lot-sizing problems considers the production of several products, the sequence in which these products are produced can influence the quality, total cost, and even the feasibility of the solution. In such a case, an integrated lot-sizing and scheduling problem with sequence-dependent setups arises (see [2]).

2 Mathematical Model and Solution Approach

In this work, we consider an integrated lot-sizing and cutting stock problem taking into account constraints to model the scheduling decision related to the cutting and lot-sizing problem. In the cutting stock level (Level 2), the cutting patterns used to generate the cut pieces are scheduling in order to minimize the cost of waste and the changeover from one cutting pattern

¹gislainemelega@gmail.com

²saraujo@ibilce.unesp.br

³morabito@ufscar.br

to other cutting pattern. These cut pieces are then addressed in the assembly process of final products (Level 3). The final products are scheduling in order to meet their demand and minimize the cost of production, inventory and changeover from one final product to other final product. For more details about integrated lot-sizing and cutting stock models see the literature review [4].

To model the scheduling decisions, we consider two approaches from the literature. The first one is based on the General Lot Sizing and Scheduling Problem with Setup Times, who considers the loss of capacity resulting from sequence-dependent setup times. The other is the asymmetric travelling salesman problem, with dependent sequences, where the setup state is carried over between periods. Both approaches are used to take into account the scheduling decisions of the cutting plan, as well as, lot-sizing of final products.

Considering the generation of a solution for this problem, we develop a column generation based heuristic which consists of applying the column generation approach to generate the matrix of cutting patterns at Level 2 and then the integer problem, considering all the generated columns is solved with an optimization package in order to obtain a feasible solution to the problem. The solutions are compared considering the different approaches to model the scheduling decisions, as well as, the impact of the scheduling decisions in the integrated problem.

Acknowledgments

This research was funded by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - *CAPES* (processes n 1755657) and Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo - *FAPESP* (process n 2016/01860-1 and 2013/07375-0).

References

- [1] N. Braga, C. Alvez, R. Macedo, and J. Valério de Carvalho. A model-based heuristic for the combined cutting stock and scheduling problem. *Lecture Notes in Computer Science*, 9156: 409 – 505, 2015.
- [2] K. Copil, M. Wörbelauer, H. Meyr, and H. Tempelmeier. Simultaneous lotsizing and scheduling problems: a classification and review of models. *OR Spectrum*, 39: 1 – 64, 2017.
- [3] H. Foerster and G. Wäscher. Simulated annealing for order spread minimization in sequencing cutting patterns. *European Journal of Operational Research*, 110: 272 – 281, 1998.
- [4] G. M. Melega, S. A. de Araujo, and R. Jans. Classification and literature review of integrated lot-sizing and cutting stock problems. *European Journal of Operational Research*, 271: 1 – 19, 2018.
- [5] D. A. Wuttke and H. S. Heese. Two-dimensional cutting stock problem with sequence dependent setup times. *European Journal of Operational Research*, 265: 303 – 315, 2018.
- [6] H. H. Yanasse and M. J. P. Lamosa. An integrated cutting stock and sequencing problem. *European Journal of Operational Research*, 183: 1353 – 1370, 2007.

Um modelo de otimização para o planejamento da produção e distribuição de polímeros reciclados

Arthur Guedes Pinto ¹

Universidade Federal de São Carlos – *campus* Sorocaba

Eli Angela Vitor Toso ²

Universidade Federal de São Carlos – *campus* Sorocaba

Resumo

O presente estudo apresenta um modelo matemático linear para o planejamento das operações de uma rede de cooperativas localizada na Região Metropolitana de Sorocaba, Rede Cata-Vida. A rede possui uma planta de processamento de material, chamada de Divisão de Polímeros. Esta planta é responsável pelo beneficiamento de polímeros coletados pelas cooperativas, agregando valor a estes materiais através de três processos: (I) armazenagem e consolidação; (II) lavagem e picotagem; (III) extrusão. Sendo assim, o modelo aborda o principal desafio da rede Cata-Vida, que é o planejamento das atividades de produção (beneficiamento) e distribuição, ou seja, a decisão de quanto enviar de material de cada cooperativa à Divisão Polímeros, para posteriormente serem vendidos às recicladoras, e quanto vender diretamente às empresas recicladoras. Portanto, através da maximização monetária foram gerados insights envolvendo a capacidades dos caminhões, estoques, envios mínimos e demandas máximas.

Além de abordar a rede do ponto de vista econômico (monetário), o modelo traz diferentes abordagens, como: os benefícios ambientais inerentes à atividade de reciclagem; a análise da correlação entre distância percorrida e a emissão de CO₂; os benefícios sociais e econômicos aos cooperados; avaliando o trade-off entre maiores distâncias percorridas versus maior retorno financeiro.

Sendo assim, o modelo também é abordado de maneira multiobjetivo, onde duas funções objetivo são normalizadas e através do método de soma ponderada avaliamos os trade-offs entre deteriorar o retorno monetário versus diminuir o impacto ambiental.

Palavras-chave

Logística Reversa; Produção e Distribuição Integrados; Reciclagem de Polímeros; Modelos de Programação Matemática; Abordagem Multicritério;

¹arthurguedespinto@gmail.com

²email@autor2.com.br

Um modelo de programação inteira para problemas de corte de itens irregulares

Layane Rodrigues de Souza Queiroz¹

Marina Andretta²

Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação,
Universidade de São Paulo - São Carlos.

Problemas de corte e empacotamento cujos itens possuem formato irregular são chamados na literatura de *problemas de nesting*. Esses problemas aparecem em vários contextos reais, com aplicações em duas e três dimensões, como na indústria metal-mecânica, de vestuário e móveis. Grande parte desses problemas são NP-Difíceis e trazem uma dificuldade intrínseca relacionada com a geometria dos itens, geralmente representados por polígonos convexos e/ou não-convexos.

Para lidar com a geometria, em particular, quando se deseja verificar sobreposição entre os itens, tem-se os métodos [1]: *raster*, que utiliza uma matriz de pontos para representar os itens e recipientes; *phi-function*, que verifica a posição relativa entre os itens a partir de funções de distância; trigonometria direta, que verifica a interseção entre segmentos de reta e inclusão de pontos; e *no-fit polygon*, que é o polígono obtido ao transladar um item ao redor de outro e representa os pontos em que os itens se sobrepõem. Outros métodos envolvem a combinação desses, como é o caso do *no-fit raster*, em que o *no-fit polygon* é combinado com o método *raster*, obtendo uma matriz de pontos [2].

Os problemas de *nesting* têm sido resolvidos em sua grande maioria por heurísticas, embora exista a resolução exata via modelos de programação inteira, como em [3, 4]. Em sua essência, os modelos consideram variáveis que indicam a posição, às vezes sobre uma malha de pontos, onde um vértice de referência dos itens deve ficar posicionado. As restrições buscam respeitar o número de cópias permitidas para cada item, que os itens fiquem inteiramente contidos no recipiente e garantir a não-sobreposição entre itens.

Das restrições nos modelos de programação inteira, pode-se dizer que as mais elaboradas são as que envolvem a não-sobreposição entre os itens. Essas restrições são modeladas em [3] da seguinte forma: para cada par de itens t e u , cada ponto d em que t pode ser empacotado, e cada ponto e obtido dentro do *no-fit polygon* entre t, u (isto é, se u estiver empacotado em e , então t e u se sobrepõem), tem-se uma restrição para que no máximo t seja empacotado em d ou o item u no ponto e , de forma a evitar a não-sobreposição. Por outro lado, em [4], os itens são decompostos em polígonos convexos e as restrições de não-sobreposição são criadas levando em consideração a trigonometria direta, podendo ser combinada com o *no-fit polygon*.

A partir disso, desenvolvemos novas restrições de não-sobreposição, em quantidade menor do que as propostas em [3]. Para tanto, consideramos o modelo em [3], para o recipiente definido sobre uma malha de pontos P e uma variável binária x_{ip} indicando que o vértice de referência do item $i \in I$ está posicionado sobre o ponto $p \in P_i$. Esse modelo passa a ter as restrições de não-sobreposição: (1), em que cada ponto da malha do recipiente deve ter no máximo um item sobrepondo-o; e, (2), para evitar que haja interseção entre itens.

¹layaner@usp.br

²andretta@icmc.usp.br

$$\sum_{i \in I} \sum_{p \in P_i^t} x_{ip} \leq 1, \quad \forall t \in P, \quad (1)$$

em que P_i^t é o conjunto formado pelos pontos $p \in P_i$, tal que o item i está posicionado em p se, e somente se, ele sobrepõe o ponto $t \in P$.

$$\sum_{j \in I} \sum_{q \in N_{ij}^t} x_{jq} \leq (1 - x_{it})|I|, \quad \forall i \in I, t \in P, \quad (2)$$

em que N_{ij}^t é o conjunto formado pelos pontos $q \in P_j$, tal que se o item i está posicionado em t , então o item j posicionado em q intercepta o interior do item i .

A Tabela 1 traz os resultados do modelo proposto, aplicado sobre o Problema da Mochila 0-1 Bidimensional, considerando 8 instâncias da literatura, para o caso sem rotação dos itens. Nota-se que o modelo foi capaz de encontrar a solução ótima, dada a escala de discretização, para 3 instâncias, enquanto as demais ficaram com um GAP médio de 5,56%, para um tempo limite de 2 horas por instância.

Tabela 1: Dados das instâncias.

Nome	#itens	(L, C)	Escala	Área (%)	Tempo (s)	GAP (%)
Dagli	30	(60, 65,6)	1:1	74,20	7200,00	3,90
Fu	12	(38, 34)	1:1	83,82	801,41	0,00
Jakobs1	25	(40, 13)	1:1	75,38	37,79	0,00
Jakobs2	25	(70, 28,2)	1:1	68,44	1925,20	0,00
Shapes0	43	(40, 63)	1:1	51,75	7200,00	2,05
Shapes1	43	(40, 59)	1:1	59,49	7200,00	13,68
Shapes2	28	(15, 27,3)	1:1	75,58	7200,00	4,68
Shirts	99	(40, 63,13)	1:1	82,65	7200,00	3,50

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Referências

- [1] J. A. Bennell e J. F. Oliveira. The geometry of nesting problems: A tutorial, *European Journal of Operational Research*, 184(2): 397-415, 2008.
- [2] L. R. Mundim, M. Andretta e T. A. Queiroz. A biased random key genetic algorithm for open dimension nesting problems using no-fit raster, *Expert Systems with Applications*, 81: 358-371, 2017.
- [3] F. M. B. Toledo, M. A. Carravilla, R. Ribeiro, J. F. Oliveira e A. M. Gomes. The dotted-board model: A new mip model for nesting irregular shapes, *International Journal of Production Economics*, 145(2): 478-487, 2013.
- [4] L. H. Cherri, L. R. Mundim, M. Andretta, F. M. B. Toledo, J. F. Oliveira e M. A. Carravilla. Robust mixed-integer linear programming models for the irregular strip packing problem, *European Journal of Operational Research*, 253(3): 570-583, 2016.

Um Modelo para o CCTP com Veículos Elétricos

Lucas Porto Maziero¹

Rafael Kendy Arakaki²

Matheus Diógenes Andrade³

Fábio Luiz Usberti⁴

^{1,2,3,4} Instituto de Computação - Unicamp

Diversas variantes do *Vehicle Routing Problem* (VRP), ou Problema de Roteamento de Veículos, foram estudadas na literatura [3]. As aplicações práticas oriundas dessas variantes envolvem restrições de tempo, orçamento, disponibilidade de recursos para os veículos ou mesmo a inacessibilidade a subconjuntos de clientes, por exemplo, alguns clientes podem estar em regiões de difícil acesso aos veículos [1]. No intuito de tratar esse tipo de restrição, foi introduzida na literatura a noção de cobertura em problemas de roteamento de veículos. O *Capacitated Covering Tour Problem* (CCTP), ou Problema de Roteamento por Cobertura com Veículos Capacitados, busca modelar essas características onde um cliente pode ser atendido quando um veículo transitar dentro de um raio de vizinhança pré-estabelecido.

Em outra esfera de pesquisas, a logística verde tem emergido como uma disciplina preocupada em planejar e operar sistemas logísticos com altos níveis de eficiência energética e baixos níveis de emissão de carbono [4]. Schneider et al. [5] afirma que: "Uma alternativa promissora é o uso de *Battery Electric Vehicles* (BEVs), ou Veículos de Bateria Elétrica, que apesar de terem falhado nos anos recentes devido ao preço exorbitante das baterias e a autonomia limitada dos veículos, as BEVs se tornaram uma das maiores áreas de pesquisa do setor automotivo e cada vez mais BEVs são desenvolvidas."

Dentre as variantes do VRP que tratam da logística verde, encontra-se o *Green Vehicle Routing Problem* (G-VRP). O G-VRP conta com desafios adicionais associados com a operação de uma frota de veículos de combustível alternativo e incorpora paradas em estações de combustível alternativo. Um dos maiores desafios na aplicação do G-VRP encontra-se no nível reduzido de postos de combustível alternativo e da baixa autonomia dos veículos.

O presente trabalho procura unir aspectos do roteamento de veículos por cobertura e de logística verde. O *Electric Capacitated Covering Tour Problem* (ECCTP), ou Problema de Roteamento por Cobertura com Veículos Capacitados e Elétricos, é definido a seguir. Seja $G(V \cup W \cup F, E)$ um grafo não-direcionado completo, onde V , W e F são três conjuntos disjuntos de vértices: V são vértices de trânsito; W são vértices clientes; e F são vértices de estações de recarga. O vértice $v_0 \in F$ representa o depósito e $E = \{(v_i, v_j) : v_i, v_j \in V \cup W \cup F, i < j\}$ representa o conjunto de arestas. No vértice depósito v_0 , M veículos homogêneos com capacidade limitada D iniciam e terminam suas rotas. Para cada vértice cliente $v_i \in W$ há uma demanda $d_i \geq 0$. As arestas $(v_i, v_j) \in E$ possuem custos $c_{ij} \geq 0$. Os veículos podem visitar vértices

¹lucasporto1992@gmail.com

²rafael.arakaki@ic.unicamp.br

³matheusdiogenesandrade@gmail.com

⁴fusberti@ic.unicamp.br

de $V \cup W \cup F$ e todos os vértices de W devem ter suas demandas atendidas por cobertura. O ECCTP consiste em obter um conjunto de até M rotas de custo mínimo satisfazendo as seguintes restrições:

- Cada rota começa e termina no vértice depósito v_0 ;
- Cada vértice $v_i \in V \cup W$ é visitado por no máximo uma rota;
- Cada vértice $v_j \in W$ deve ser coberto por pelo menos uma rota, ou seja, deve pertencer a uma rota ou estar a uma distância de cobertura d_{max} de algum vértice visitado por alguma rota;
- A demanda d_i de um vértice $v_i \in W$ é atendida exclusivamente por uma única rota;
- Dado o conjunto de vértices $R \subseteq V \cup W$ visitados por uma rota k , a demanda total desta rota é dada pelo somatório das demandas dos vértices atendidos pela rota k ;
- A demanda de um vértice $v_i \in W$ pode ser atendida por uma rota k se existir um vértice v_u visitado pela rota k , tal que $sp(v_i, v_u) \leq d_{max}$, onde $sp(v_i, v_u)$ é o *shortest path*, ou caminho mínimo, entre os vértices v_i e v_u . Cabe ressaltar que v_i e v_u podem ser o mesmo vértice;
- A demanda total da rota não deve exceder a capacidade D do veículo;
- Cada veículo possui uma autonomia energética limitada de β unidades que diminui em c_{ij} unidades ao transitar pela aresta $(v_i, v_j) \in E$. Não é possível ao veículo visitar uma aresta de custo maior do que o seu nível de energia. Ao visitar uma das estações de recarga em F , o nível de energia do veículo é restaurado ao máximo de β unidades.

O ECCTP é um problema NP-difícil, uma vez que o VRP é NP-difícil [2] e podemos considerar o VRP como um caso particular do ECCTP, onde $d_{max} = 0$ e a autonomia energética β é suficientemente alta.

Este trabalho propõe um modelo de programação linear inteira para o ECCTP. O modelo contém restrições associadas ao atendimento de demandas por cobertura e do uso de veículos elétricos, visando a minimização da soma das distâncias percorridas por todas as rotas.

Referências

- [1] S. Allahyari, M. Salari e D. Vigo. A hybrid metaheuristic algorithm for the multi-depot covering tour vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*. 242(3): 756-768, 2015.
- [2] G. B. Dantzig e J. H. Ramser. The truck dispatching problem. *Management science*. 6(1): 80-91, 1959.
- [3] B. L. Golden, S. Raghavan e E. A. Wasil. *The vehicle routing problem: latest advances and new challenges*. Springer Science & Business Media, 2008.
- [4] V. Leggieri e M. Haquari. A practical solution approach for the green vehicle routing problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 104: 97-112, 2017.
- [5] M. Schneider, A. Stenger e D. Goetze. The electric vehicle-routing problem with time windows and recharging stations. *Transportation Science*. 48(4): 500-520, 2014.

Um novo modelo de dimensionamento e sequenciamento de lotes integrado ao corte de estoque para a indústria de papel

Guilherme de Oliveira Macedo ¹

Faculdade de Ciências Aplicadas, Universidade Estadual de Campinas, Brasil

Carla Taviane Lucke da Silva Ghidini ²

Faculdade de Ciências Aplicadas, Universidade Estadual de Campinas, Brasil

Sônia Cristina Poltroniere ³

Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Na indústria de papel, uma máquina pode produzir diferentes tipos de papel, os quais se caracterizam pela gramatura, medida em g/m^2 . A configuração da máquina de papel para produzir uma certa gramatura depende da sequência que as gramaturas são produzidas, uma vez que, por exemplo, mudar da gramatura $170 g/m^2$ para a gramatura $200 g/m^2$ é menos custoso que mudar da gramatura $115 g/m^2$ para $200 g/m^2$. A troca de gramatura leva a uma perda no processo de produção, em termos de tempo e qualidade do papel produzido. O jumbo, que é o resultado final da máquina de papel, numa outra etapa do processo é cortado em bobinas menores de diferentes tamanhos, ocasionando também perdas de papel.

Assim, alguns problemas de otimização surgem em meio a esse processo produtivo, entre os quais, destacam-se os problemas de dimensionamento de lotes, sequenciamento da produção e corte de estoque. Geralmente, esses problemas são tratados de maneira isolada pela indústria, o que reduz o espaço de soluções e a interdependência entre eles, elevando os custos globais de produção.

O problema de dimensionamento de lotes consiste em determinar como será a produção dos jumbos, ou seja, o que e quanto produzir em cada período do horizonte de planejamento de tal modo que a demanda seja atendida e os custos totais de produção sejam minimizados. O problema de sequenciamento da produção, por sua vez, envolve decisões mais detalhadas para definir como se dará a produção a curto prazo. E por fim, o problema de corte de estoque consiste em cortar objetos (jumbos) de tamanhos grandes e padronizados para produzir itens (bobinas) de tamanhos menores e variados nas quantidades solicitadas de tal modo que a perda de material ou número de objetos utilizados sejam minimizados. Um problema é dito integrado quando aborda dois ou mais desses problemas de forma interdependente.

Na literatura, há diversos trabalhos que tratam da integração de somente dois desses problemas. Entretanto, pouco se vê trabalhos que integram os problemas de dimensionamento e sequenciamento de lotes ao corte de estoque, o que motivou a desenvolver este trabalho.

Com objetivo de obter custos globais de produção ainda melhores, se propôs um modelo matemático de programação linear inteira mista para representar este problema integrado na indústria de papel, no qual considera macro-períodos, que são divididos em micro-períodos de tamanhos variáveis, sem sobreposição e sequenciados. Esse modelo é uma extensão dos

¹guilherme.macedo@fca.unicamp.br

²carla.ghidini@fca.unicamp.br

³soniacps@fc.unesp.br

trabalhos [1, 2] composto por restrições clássicas do problema de dimensionamento de lotes, sequenciamento da produção e corte de estoque, tais como, atendimento à demanda, capacidade de produção, preparação de máquina, etc.

Experimentos computacionais preliminares foram realizados com classes de instâncias do modelo integrado relaxado geradas aleatoriamente com base em dados reais e da literatura, as quais foram resolvidas com o auxílio do CPLEX 12.8. Os resultados obtidos foram comparados com a composição das soluções ótimas dos problemas resolvidos separadamente e mostraram uma redução mediana de aproximadamente 6% dos custos totais de produção.

Referências

- [1] M. M. Furlan, B. Almada-Lobo, M. O. Santos e R. Morabito. Unequal individual genetic algorithm with intelligent diversification for the lot-scheduling problem in integrated mills using multiple-paper machines. *Computers & Operations Research*, 59:33–50, 2015.
- [2] S. C. Poltroniere, K. C. Poldi, F. M. B. Toledo e M. N. Arelanes. A coupling cutting stock-lot sizing problem in the paper industry. *Annals of Operations Research*, 157(1):91–104, 2008.

Uma abordagem com meta-heurísticas para o problema MAXSPACE

Mauro Roberto Costa da Silva¹

UNICAMP

Rafael Crivellari Saliba Schouery²

UNICAMP

O problema MAXSPACE é um dos principais problemas da classe de problemas de disposição de propagandas. Nesse problema desejamos dispor um conjunto A de propagandas em um retângulo B , em que temos N unidades de tempo, chamados *slots*, sendo que, em cada unidade de tempo, as propagandas do *slot* correspondente são exibidas em B . Todas as propagandas possuem a mesma largura e cada propaganda A_i possui uma altura e uma frequência, respectivamente, s_i e w_i , em que $w_i \leq N$. A altura da propaganda A_i representa o espaço que A_i ocupa em um *slot* e a frequência define o número de vezes que A_i deve aparecer. Como não é muito interessante para os anunciantes que a sua propaganda apareça duas vezes no mesmo *slot*, uma propaganda pode ser adicionada no máximo uma vez por *slot*. Além disso, um limite superior S é especificado para a altura de B , dessa forma, nenhum *slot* pode exceder a altura máxima S . Consideramos então que $s_i \leq S$, para toda propaganda A_i . Uma solução viável para o MAXSPACE consiste em um subconjunto $A' \subseteq A$ tal que, para todo $A_i \in A'$, exatamente w_i cópias de A_i foram adicionadas aos *slots*, de forma que nenhum *slot* recebeu mais de uma cópia de A_i e nenhum *slot* excedeu a altura máxima S , isto é, para todo *slot* B_j , $\sum_{A_i \in B_j} s_i \leq S$. O objetivo do MAXSPACE é maximizar o valor, dado por $\sum_{A_i \in A'} s_i w_i$, isto é, o valor associado à propaganda é a sua altura multiplicada pela sua frequência [1,2].

Propusemos uma variante do MAXSPACE com *deadline* e *release date*, frequência variável e valor generalizado. Nessa versão cada propaganda A_i possui um *release date* rd_i , que indica a partir de qual *slot* a propaganda A_i pode aparecer, e um *deadline* dl_i , que indica até qual *slot* a propaganda A_i pode aparecer. Além disso, cada propaganda A_i possui um valor v_i que não é necessariamente igual a $s_i w_i$ e não possui um valor fixo w_i para a frequência, mas sim um intervalo que varia entre w_i^{\min} e w_i^{\max} .

Neste trabalho aplicamos as meta-heurísticas *Variable Neighborhood Search* (VNS), *Tabu Search* e GRASP ao problema MAXSPACE original e à variante proposta.

Referências

- [1] M. Adler, P. B. Gibbons e Y. Matias. Scheduling space-sharing for internet advertising. *Journal of Scheduling*, 5(2): 103-119, 2002.
- [2] M. Dawande, S. Kumar e C. Srisankarajah. Performance bounds of algorithms for scheduling advertisements on a web page. *Journal of Scheduling*, 6: 373-394, 2003.

¹maurorcsc@gmail.com

²rafael@ic.unicamp.br

Uma Abordagem do Processo da Produção em Indústrias de Recipientes de Ampolas Térmicas

Magna Paulina de Souza Ferreira¹

Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação

Flaviana Moreira de Souza Amorim²

Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação

Claudio Fabiano Motta Toledo³

Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação

Márcio da Silva Arantes⁴

Instituto SENAI de Inovação em Sistemas Embarcados

Este trabalho apresenta um estudo de caso real baseado no planejamento da produção na Indústria de Recipientes de Ampolas Térmicas (IRAT) propondo uma modelagem para o problema e aplicando um método exato para resolvê-lo. Em [1] e [2] são abordados problemas em indústrias de recipientes de vidro, o qual nos embasamos para descrever o artigo proposto.

A principal decisão a ser tomada consiste no dimensionamento de lotes a serem produzidos para cada tipo de ampola. Essa decisão geralmente se baseia na demanda prevista dentro de um horizonte de tempo.

O problema abordado será chamado de forma simplificada como Problema na Indústria de Vidro - Recipientes de Ampolas (PIV-RA).

$$\text{Min} \sum_{i=1}^m \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \frac{S_{itk} * Q_{iK} * C_i}{3} \quad (1)$$

s.a:

$$I_{it} = \sum_{k=1}^K PL_{itk} + I_{it-1} - D_{it} \quad \forall(i, t > 1) \quad (2)$$

$$I_{it} = \sum_{k=1}^K PL_{itk} - D_{it} + I_{i0} \quad \forall(i, t = 1) \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^K PT_{itk} * P_i \leq C \quad \forall(t) \quad (4)$$

$$PL_{itk} = PT_{itk} * (1 - R_{it}) + Q_{ik} * S_{itk} * (-1 + R_{it})/3 \quad \forall(i, t, k) \quad (5)$$

$$PT_{itk} = Q_{ik} * Y_{itk} \quad \forall(i, t, k) \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^m Y_{itk} = 1 \quad \forall(t, k) \quad (7)$$

$$S_{itk} \geq Y_{itk} - Y_{i(t-1)k} \quad \forall(i, t > 1, k) \quad (8)$$

¹magnasouza@usp.br

²joflaviana@yahoo.com.br

³claudio@icmc.usp.br

⁴marcio.arantes@sc.senai.br

$$S_{itk} = Y_{itk} \quad \forall(i, t = 1, k) \quad (9)$$

$$Y_{itk} = Y_{it(k-1)} \quad \forall(i, t, k > 1) \quad (10)$$

$$Y_{itk}, S_{itk} \in \{0, 1\} \quad (11)$$

$$I_{it}, PL_{itk}, PT_{itk} \geq 0 \quad (12)$$

A função objetivo (FO) (1) minimiza o setup. As restrições (2) e (3) representam a equação de balanço de estoque. A restrição (4) limita a produção total de acordo com a capacidade diária de derretimento do forno para as ampolas. A restrição (5) afirma que a produção líquida das ampolas será a produção total menos a quantidade de ampolas que foram perdidas no refugo, durante o processo de produção, considerando se houve *set-up* ou não no dia, em que 1/3 equivale a 8 horas de *set-up* e neste caso é considerado 2/3 da produção total. A restrição (6) afirma que a produção total deve ser igual a capacidade produtiva da máquina em um dia normal somente se o produto estiver ativado. A produção será zero, caso o produto não esteja ativo na máquina. A restrição (7) permite que se tenha apenas um produto ativado na máquina por vez. As restrições (8) e (9) representam o *set-up*, onde a diferença entre o produto ativo no período atual e no período anterior determinam se ocorre ou não o *set-up*. A restrição (10) afirma que deve ser produzido o mesmo produto nas máquinas. As restrições (11) e (12) apresentam os respectivos domínios das variáveis de decisão.

Para solucionar o PIV-RA na otimalidade, aplicamos o método exato de Branch and Cut. Consideramos uma instância real para um planejamento de 90 dias, baseando-se na produção de dois tipos de ampolas térmicas referenciadas como produtos A04 e A05, na qual foi possível alcançar resultados similares aos obtidos pela IRAT. A Figura 1 representa uma amostra dos resultados, considerando um horizonte de tempo de sete dias.

Dias de Produção	Ampolas/IRAT	Produção Líquida IRAT	Ampolas/Modelo	Produção Líquida Modelo
24/nov	A04	33237	A04	41804
25/nov	A04	29850	A04	41804
26/nov	A04	32824	A04	41804
27/nov	A05	7812	A04	41804
28/nov	A05	19728	A05	28050
29/nov	A05	19751	A05	41804
30/nov	A05	24000	A05	41804

Figura 1: Planejamento da IRAT e do Modelo para sete dias.

Comparando os resultados de produção obtidos pela IRAT e os obtidos pelo modelo proposto, podemos notar que a produção líquida de ambos são similares. Em destaque podemos observar que houve setup da ampola A05 no dia 27 de novembro considerando o processo de produção seguida pela IRAT e para a ampola A04 no dia 28 de novembro considerando a produção do modelo. Como trabalhos futuros temos o desenvolvimento de outras abordagens para o PIV-RA.

Referências

- [1] F. M. S. Amorim, M. S. Arantes, C. F. M. Toledo e B. Almada-Lobo. A mathematical model and heuristic approach for the production planning in the glass container industry. *Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics*, 6(1), 2018.
- [2] C. F. M. Toledo, M. S. Arantes, M. Y. B. Hossomi e B. Almada-Lobo. Mathematical programming-based approaches for multi-facility glass container production planning. *Computers Operations Research*, 74:92–107, 2016.

Uma abordagem exata para o Problema de Corte Biobjetivo

Horácio Hideki Yanasse¹

ICT-Unifesp

Luiz Leduíno de Salles Neto²

ICT-Unifesp

Calvin Rodrigues Costa³

ICT-Unifesp

Consideramos nesse trabalho o problema de corte de estoque biobjetivo: minimizar o número de objetos processados e o número de diferentes padrões. Para obter o mínimo para o segundo objetivo com o valor ótimo inteiro para o primeiro, nós propomos resolver iterativamente o problema de minimização do número de objetos processados sujeito a um limite superior do número de diferentes padrões na solução.

Vanderbeck (2000) aborda esse problema como um problema de minimização de padrões (PMP). Assumindo que um limite superior do número de objetos é dado, ele minimiza o número de diferentes padrões, conforme o modelo 2 apresentado a seguir:

$$\begin{aligned} & \text{Minimize} && \sum_{k=1}^K y_k \\ & \text{s.a:} && \sum_{k=1}^K n_k \leq T \\ & && \sum_{k=1}^K l_i x_{ik} \leq L y_k && k = 1, \dots, K. \\ & && n_k \leq T y_k && k = 1, \dots, K. \\ & && \sum_{j=1}^n n_k x_{ik} = d_i, && i = 1, \dots, m. \\ & && x_{ik} \geq 0 \text{ integer for} && i = 1, \dots, m; \quad k = 1, \dots, K. \\ & && n_k \geq 0, && k = 1, \dots, K. \\ & && y_k \in \{0, 1\} && k = 1, \dots, K. \end{aligned}$$

em que x_{ik} é o número de vezes que o item do tipo i é cortado no padrão tipo k , y_k é uma variável binária que é igual a 1 se o padrão k é usado e 0 caso contrário, n_k é o número de vezes que o padrão do tipo k é cortado, e T é o limite superior do número de objetos dado e K é o limite superior no número de padrões na solução.; m é o número total de itens; L é o tamanho do objeto; l_i é o tamanho do item i ; d_i é a demanda do item i .

Em [2], o Modelo 1 não é usado. O autor argumenta que : “The above formulation of PMP is a nonlinear integer program. Linearising it would lead to a linear integer program with a weak linear programming relaxation. Moreover, the formulation exhibits some symmetry (the indices k are interchangeable), which is bound to lead to difficulties in a branch-and-bound

¹horacio.yanasse@unifesp.br

²luiz.leduino@unifesp.br

³calvin.r.costa@gmail.com

procedure.” Ele então propõe uma formulação de otimização quadrática inteira, um método de decomposição, e um algoritmo branch-and-bound para resolvê-lo.

Nós revisitamos esse modelo proposto em [2] para o PMP. Nós linearizamos uma versão adaptada do Modelo 1 e propomos um procedimento iterativo para obter uma fronteira de pareto para o problema de corte biobjetivo, conforme o modelo a seguir:

$$\begin{aligned}
 & \text{Minimize} && C_1 T + C_2 \sum_{k=1}^K y_k \\
 & \text{s.t.} && \sum_{k=1}^K n_k \leq T \\
 & && \sum_{k=1}^K l_i x_{ik} \leq L y_k && k = 1, \dots, K. \\
 & && n_k \leq T y_k && k = 1, \dots, K. \\
 & && \sum_{j=1}^n n_k x_{ik} \geq d_i, && i = 1, \dots, m. \\
 & && x_{ik} \geq 0 \text{ integer for} && i = 1, \dots, m; \quad k = 1, \dots, K. \\
 & && n_k \geq 0, && k = 1, \dots, K. \\
 & && y_k \in \{0, 1\} && k = 1, \dots, K.
 \end{aligned}
 \tag{Model2}$$

em que T é o número de objetos, agora uma variável de decisão.

A variável T na restrição $n_k \leq T y_k$ pode ser substituída por qualquer limite superior do seu calor, digamos S . Assim, nós podemos trabalhar com uma restrição linear:

$$n_k \leq S y_k \quad K = 1, \dots, K.$$

Nós podemos linearizar a restrição $\sum_{j=1}^n n_k x_{ik} \geq d_i$ usando o seguinte artifício. Seja

$$n_k = \sum_{j=0}^{t_k} 2^j n_{jk} S y_k \quad K = 1, \dots, K.$$

em que n_{jk} é uma variável binária, $j = 0, 1, \dots, t_k$, $k = 1, \dots, K$; t_k é igual ao maior inteiro menor ou igual a $\log_2 T_k$, T_k é um limite superior para n_k (t_k é igual ao número de bits necessários para representar T_k).

A partir desse modelo aplicamos ainda algumas técnicas de otimização inteira e equivalências de forma a torná-lo mais eficiente.

Os testes computacionais em curso, realizados utilizando-se o *software Cplex* na plataforma *AMPL*, estão demonstrando que a abordagem proposta obtém alguns resultados muito bons quando comparados com os resultados obtidos por Cui et al. [1]. O modelo está sendo testado em 1800 problemas-teste também usados por Cui et al [1].

Referências

- [1] Y. Cui, C. Zhong, Y. Yao Pattern-set generation algorithm for the one-dimensional cutting stock problem with setup cost. *European Journal of Operational Research*, 243(2): 540–546, 2015.
- [2] F. Vanderbeck. Exact algorithm for minimising the number of setups in the one-dimensional cutting stock problem. *Oper. Res.* 48: 915–926, 2000.

Uma nova abordagem para o problema de corte de estoque com sobras aproveitáveis

Arthur Barreto¹

UNESP Bauru

Luiz Henrique Cherri²

ODM - Optimized Decision Making

Adriana Cristina Cherri³

UNESP Bauru

Problemas de corte de estoque (PCE) tiveram sua primeira formulação em 1960 e, desde então, vêm sendo bastante pesquisados devido a sua grande aplicação na indústria. Um conceito ainda não totalmente explorado consiste no aproveitamento de sobras de matérias-primas para atender demandas futuras.

Similar ao PCE, o problema de corte de estoque com sobras aproveitáveis (PCESA) geralmente tem como objetivo minimizar a perda da matéria prima resultante do processo de corte. A possibilidade de gerar sobras com o objetivo de utilizá-las em períodos futuros introduz uma gama de possibilidades para a forma com que os objetos serão cortados (padrão de corte), o que resulta na possibilidade de diminuição do desperdício de matéria prima.

Em [1], é proposto um novo modelo para o PCESA com uma abordagem orientada ao objeto, enquanto trabalhos anteriores apresentam abordagens orientadas aos itens ou a padrões de corte. O objetivo deste modelo é reduzir a perda ao cortar objetos padronizados ou sobras, ambos disponíveis em estoque.

Para resolver o modelo, os autores relaxaram sua condição de integralidade e utilizaram a técnica de geração de colunas. Este método consiste em resolver o problema de corte relaxado, inicialmente, com um número restrito de padrões de corte. Chamamos este problema de problema mestre restrito (PMR). Após resolvido este problema, as variáveis duais relacionadas com sua solução são utilizadas em um subproblema (problema da mochila) para gerar um novo padrão de corte. Quando está coluna e inserida no PMR, sua solução pode ser melhorada. O processo de resolução do PMR e subproblema se repete até que não seja mais possível encontrar um padrão de corte que melhore a solução do PMR, ou seja, a solução do problema de corte relaxado é ótima.

O modelo [1] necessita de um maior tempo para resolução quando comparado com um PCE sem sobras devido a maior variedade de padrões de corte. Para solucionar este empecilho, uma nova estratégia é proposta neste trabalho através da inserção de K soluções no PMR a cada iteração da geração de colunas. Estas soluções são as K de melhor valor encontradas durante o processo de resolução do problema da mochila, as quais são armazenadas e inseridas no problema mestre. Para se verificar a eficiência da nova estratégia, parâmetros como número de iterações e tempo computacional foram mensurados.

¹arthur.medeiros@unesp.br

²lhcherri@icmc.usp.br

³adriana.cherri@unesp.br

Testes computacionais sem estoque inicial de sobras foram realizados a partir de 6 instâncias, divididas igualmente entre itens de tamanho médio, [140, 400] e grandes [400, 700]. Cada uma das instâncias possui 50 problemas com 50 itens em cada e diferenciam entre si pela demanda dos itens, as quais podem ser baixa [1,10], média[10,50] e alta [50,300]. Para testes com estoque inicial de sobras, a classe de itens médios com demanda média foi utilizada.

A Figura 1 apresenta a variação do tempo computacional para $K = 1$ e $K = 6$ para uma das classes (itens médios com demandas médias sem estoque inicial de sobras). O parâmetro U corresponde ao número máximo de sobras que podem ser geradas, e assumiu os valores [0,3,6,9,12] conforme na Figura 1.

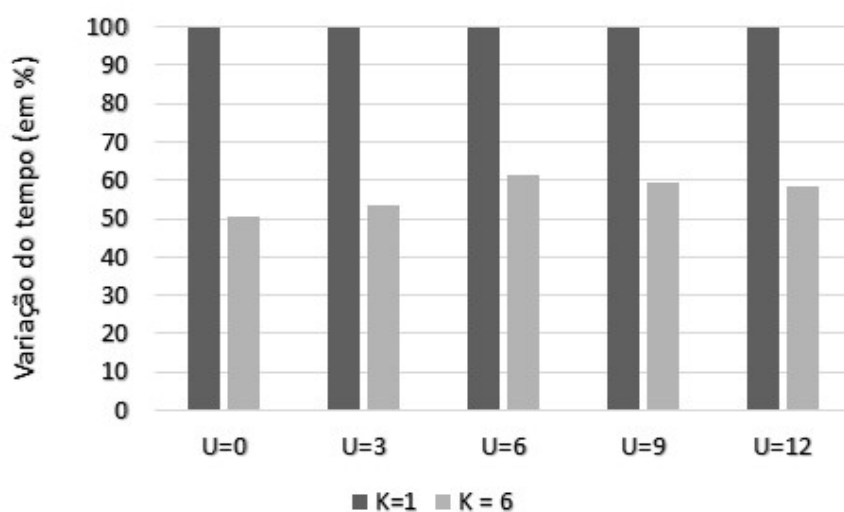


Figura 1: Variação de tempo para a resolução do problema considerando $K = 1$ e $K = 6$.

Utilizando as $K = 6$ soluções obtidas pelo CPLEX, o tempo para provar a otimalidade do problema de corte relaxado é de 50% a 60% do tempo quando $K = 1$ é utilizado. Como próximos passos deste trabalho, será utilizada a estratégia proposta em [2] para a obtenção das K melhores soluções do problema da mochila para a geração de padrões para o PMR.

Agradecimentos

Agradecemos a CAPES pelo auxílio financeiro e a todos os pesquisadores que participaram direta ou indiretamente da elaboração deste trabalho.

Referências

- [1] M. Arenales, A. Cherri, Nascimento, D e Vianna, A. A new mathematical model for the cutting stock/leftover problem. *Pesquisa Operacional*, 35: 1-14, 2015.
- [2] A. Leao, L. Cherri e M. Arenales. Determining the K-best solutions of knapsack problems. *Computers & Operations Research*, 49: 71-82, 2014.

Un modelo de programación entera basada en una red de requisiciones o Full-truckloads para el problema de asignación de vehículos.

Cesar Dario Alvarez Cruz¹

Universidade Federal de São Carlos

Pedro Augusto Munari Junior²

Universidade Federal de São Carlos

Reinaldo Morabito Neto³

Universidade Federal de São Carlos

La eficiencia en el transporte de cargas en carretera es fundamental para formar ventajas competitivas para las empresas. En este contexto surge el Problema de Asignación de Vehículos (PAV) como herramienta de apoyo en la gestión de una flota de vehículos para atender pedidos de demanda por transporte de carga. El PAV consiste en: dado un conjunto de demandas conocidas por transporte de carga entre diferentes pares de terminales a lo largo de un determinado horizonte de planeación, asignar vehículos vacíos a los diferentes terminales para atender esas demandas de tal forma que se maximicen los lucros generados por estas operaciones y se minimicen los costos de transporte de vehículos vacíos que surgen del desequilibrio espacio temporal entre la demanda y la disponibilidad de vehículos. El PAV puede ser formulado como una extensión de un problema entero de flujo de costo mínimo donde cada nodo de la red equivale a un par terminal-periodo [1–3]. En este trabajo se propone un modelo de programación entera mixta para el PAV basado en una red de requisiciones, conforme a la línea de ruteo de vehículos por Full truckloads, donde cada nodo equivale a un trayecto de demanda por transporte de carga. De esta forma, un camino factible de cada vehículo en la formulación de red extendida espacio-temporal, se transforma en una secuencia de requisiciones a ser visitadas por el mismo vehículo. Este modelo posee un número significativamente menor de restricciones y variables en relación a los modelos basado en redes extendidas de espacio-tiempo, lo cual es una ventaja para resolver instancias realistas de un país con dimensiones continentales como Brazil. Los resultados obtenidos comparando los dos modelos y usando ejemplares realistas muestra la eficacia del nuevo modelo.

Referências

- [1] C. Cruz. *Abordagen de otimização para o problema de alocação dinâmica de veículos no contexto de transporte rodoviário de carga no Brasil*. UFSCar, São Carlos, 2017.
- [2] G. Ghiani, G. Laporte e R. Musmanno. *Introduction to logistics systems planning and control*, Hoboken, NJ, USA, J. Wiley, 2004.

¹cesarknbv@ufscar.br

²munari@ufscar.br

³morabito@ufscar.br

- [3] R. Vasco , R. Morabito. The dynamic vehicle allocation problem with application in trucking companies in Brazil, *Computers & Operations Research*, 76: 118 - 133, 2016.

XIX ONPCE: Oficina Nacional de Problemas de Corte e Empacotamento, Planejamento e Programação de Produção e Correlatos

Apresentações em painéis

Aplicação da Heurística *Relax and Fix* em Problemas de Dimensionamento Lotes com Múltiplos Itens

Ana Laura Carvalho Bianco¹
UNESP Bauru

Adriana Cherri²
UNESP Bauru

Problemas de dimensionamento de lotes (PDL) são amplamente estudados na literatura e fazem parte de uma classe de problemas que envolvem decisões de planejamento da produção industrial. As decisões envolvem quais produtos serão produzidos, em quais quantidades e em qual período, de forma a atender a demanda com a melhor relação custo-benefício possível.

Um PDL pode apresentar diferentes características. O número de tipos de itens em um PDL é a quantidade existente de diferentes tipos de peças que devem ser produzidas. Esse número pode ser um, no caso em que se deseja planejar a produção de apenas um item, ou múltiplos, quando há mais de um item a ser produzido. Conforme [1], quanto maior o número de itens, maior o número de variáveis do modelo e, conseqüentemente, maior a complexidade do PDL.

Restrições de capacidade aparecem nos problemas em que há uma limitação nos recursos disponíveis para a produção dos itens, por exemplo, a capacidade máxima de produção de papel que aparece no contexto das indústrias papeleiras ou a capacidade da serra no corte de placas de madeiras nas indústrias de móveis. Quando não há restrição de recursos no modelo, o problema é dito ser não-capacitado.

Os PDL também podem ser caracterizados como monoestágio ou multiestágio. Denomina-se sistema de produção multiestágio quando são considerados dois ou mais níveis de produção interdependentes e monoestágio quando há apenas um nível de produção.

Em [2] foi tratado o PDL, considerando um sistema monoestágio, com capacidade limitada, múltiplos itens, e com os tempos e custos de preparações. Um modelo matemático para representar esse problema foi proposto.

Neste projeto, o PDL multi-itens, com restrições de capacidade foi abordado. Além de determinar a quantidade de cada item a ser produzida, considerou-se custos de produção, de preparação e armazenamento em estoque. O modelo matemático proposto em [2] foi implementado, assim como a um procedimento heurístico baseado em métodos exatos, a heurística *relax and fix* [3].

Esta heurística propõe solucionar o problema em etapas, sendo que, a cada etapa, um subproblema derivado do problema original é resolvido de forma exata. Para tanto, as variáveis inteiras do problema são divididas em três grupos: variáveis fixas, variáveis inteiras não fixas (livres) e variáveis inteiras linearmente relaxadas. Em cada etapa do método, temos um subproblema em que cada variável inteira do problema deve pertencer a um desses conjuntos. Ao fim de cada etapa, é obtida uma solução para o subproblema a ela associado. Assim, são fixadas

¹analauracb.1996@gmail.com

²adriana.cherri@unesp.br

as variáveis inteiras livres no valor da solução encontrada. Do conjunto de variáveis inteiras relaxadas, um novo subconjunto de variáveis (uma partição) é escolhido para ser composto por inteiras livres. Esse procedimento é realizado até que todas as variáveis inteiras do problema original tenham sido fixadas.

Referências

- [1] L. A. Wolsey. *Integer Programming, series in Discrete Mathematics and Optimization*. Wiley-Interscience, New Jersey, 1998.
- [2] S.M.T.F. Ghomi, B. Karimi e J.M.Wilson. The capacitated lot sizing problem: a review of models and algorithms, *Omega*. 31: 365-378, 2003.
- [3] W.W. Trigeiro. A Simple Heuristic for Lot Sizing with Setup Times, *Decision Sciences*. 20: 294-303 , 1989.

Dimensionamento e sequenciamento de lotes de produção com gerenciamento da demanda via pedidos

Rudivan Paixão Barbosa¹

Universidade de São Paulo-USP

Willy A. Oliveira²

Instituto de Matemática, UFMS

Maristela Oliveira dos Santos³

Universidade de São Paulo-USP

Resumo: O problema de dimensionamento e sequenciamento tem como objetivo determinar os tamanhos de lotes juntamente com sequência de produção desses, em cada período de um horizonte de planejamento, de modo a otimizar um objetivo. Neste trabalho consideramos o problema onde as demandas são gerenciadas via pedidos de clientes, os quais podem ser compostos por diversos itens. Os clientes não recebem pedidos parciais, de modo que, se não houver capacidade produtiva para produzir todos os itens solicitados num mesmo pedido, o pedido será rejeitado. Além disso, cada pedido deve ser entregue dentro de uma janela de tempo especificada pelo cliente e os itens produzidos são perecíveis, podendo permanecer estocados por tempo limitado. Testes preliminares, utilizando um modelo de otimização linear inteira, mostram que a qualidade das soluções fornecidas por um solver de otimização é influenciada pela qualidade dos limitantes duais obtidos dentro de um limite de tempo definido. Assim, o objetivo do trabalho é propor novas formulações/reformulações para melhorar a qualidade das soluções obtidas.

Introdução

O problema de dimensionamento de lotes consiste em planejar a quantidade a ser produzida dos itens em cada período ao longo de um horizonte de tempo finito, de modo a atender uma certa demanda e otimizar uma função objetivo. O problema de decidir, de maneira integrada o tamanho e a sequência dos lotes de produção é conhecido na literatura como problema de dimensionamento e sequenciamento de lotes. Uma revisão recente sobre problemas integrados de dimensionamento de lotes pode ser encontrada em [2]. Os autores apresentam um esquema de classificação de modelos propostos.

A maioria dos trabalhos encontrados na literatura consideram o problema com o gerenciamento dos pedidos dos clientes desagregados em demanda, ou seja, procuram atender a demanda dos itens. No entanto, geralmente os clientes solicitam itens distintos agrupados em pedidos. Ao tratar o problema considerando o atendimento dos clientes via itens e permitir atrasos no atendimento da demanda, o pedido do cliente poderá ser entregue parcialmente. Em algumas indústrias alimentícias, os clientes (que podem ser restaurantes e/ou supermercados, por

¹rudivan@usp.br

²willy.oliveira@ufms.br

³mari@icmc.usp.br

exemplo) usualmente realizam pedidos compostos por vários itens e não possuem interesse no atendimento parcial de seu pedido, pois pode ser necessário buscar os produtos, não entregues, em outros fornecedores, aumentando os custos.

[4] tratam o problema integrado com possibilidade do não atendimento da demanda dos produtos. O objetivo é maximizar o lucro associado ao atendimento da demanda de cada item. O problema considerado pelos autores não gerencia as demandas via pedidos, mas sim, item por item. Um trabalho da literatura diretamente relacionado ao problema considerado neste trabalho é o de [3] que trata problema com gerenciamento de pedidos em fundições de pequeno porte. Os modelos propostos permitem atrasos no atendimento dos pedidos, que são penalizados na função objetivo. Estes atrasos, se postergados até o fim do horizonte de planejamento, levam ao não atendimento do pedido. O problema foi modelado como um problema de dimensionamento de lotes multiestágio, considerando os pedidos como itens finais e os itens solicitados como os itens componentes. Evitam os atendimentos parciais antes do final do horizonte de planejamento.

Recentemente [5] propuseram um modelo de programação linear inteira mista para tratar o problema integrado de dimensionamento e sequenciamento de lotes com gerenciamento de pedidos. Além disso, apresentaram um procedimento de solução do tipo *Fix-and-Optimize*. As soluções obtidas utilizando o solver CPLEX para exemplares com 10 períodos, 25 itens, 30 pedidos e janelas de tempo iguais de 3 períodos, apresentam desvios médios de 67%, enquanto que as soluções fornecidas pela heurística apresentam desvio médio de 60%. Esses resultados mostram que mais estudos devem ser realizados para tratar o problema com o foco em reformulações/formulações que melhoram a qualidade dos limitantes obtidos, conforme proposto neste trabalho.

Conclusões

Neste trabalho consideramos um problema de dimensionamento e sequenciamento de lotes onde o gerenciamento das demandas é realizado via pedidos. Testes computacionais foram realizados com auxílio de um software de otimização utilizando o modelo proposto em [5] e as soluções foram analisadas. Com o intuito de melhorar a qualidade das soluções obtidas, reformulações do modelo devem ser investigadas. Além disso, investigaremos métodos de solução baseados no modelo matemático.

Referências

- [1] K. Copil, M. Wörbelauer, H. Meyr e H. Tempelmeier. Simultaneous lotsizing and scheduling problems: a classification and review of models. *OR Spectrum*, 39: 1-64, 2016.
- [2] M. G. S. Furtado. O planejamento da produção de pedidos em fundições de pequeno porte, Dissertação de Mestrado em Ciência da Computação e Matemática Computacional, USP, (2012).
- [3] N. Sereshti e M. Bijari. Profit maximization in simultaneous lot-sizing and scheduling problem. *Applied Mathematical Modelling*, 37: 9516 - 9523, 2013.
- [4] V. U. D. Teixeira, W. A. Oliveira e M. O. Santos. Um problema de dimensionamento e sequenciamento de lotes de produção com gerenciamento da demanda via pedidos e com tempos/custos de preparação dependentes da sequência. *XLIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, 2017.

XIX ONPCE: Oficina Nacional de Problemas de Corte e Empacotamento, Planejamento e Programação de Produção e Correlatos

Estudo da Otimização de Layout Robusto e Dinâmico por meio da utilização de Métodos Exatos e Metaheurísticas.

Elaine Xavier Dias¹

Universidade Federal de São Paulo - UNIFESP/Instituto Tecnológico da Aeronáutica-ITA

Anibal Tavares de Azevedo²

Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

Luiz Leduño Neto³

Universidade Federal de São Paulo – UNIFESP

O artigo trata-se de um Problema conhecido na literatura como Facility Layout Problem – FLP, que é responsável por determinar a melhor colocação dos bens de produção levando em consideração o relacionamento destes em uma área específica. Quando se tem um bom posicionamento das instalações consegue-se diminuir até 50% do total das despesas. [2] A presença de um layout inadequado representa aproximadamente 30% de tempo gasto desnecessariamente na movimentação de produtos e materiais dentro de uma fábrica. [5]

Este é um tipo de problema que apresenta uma alta complexidade e uma difícil avaliação. [3] Além disso, apresenta uma grande importância por interferir claramente na eficácia do processo o que impactará no preço do produto final [4][7] e consequentemente no poder desta empresa no mercado globalizado.

O estudo se dará em um Layout caracterizado como Funcional (Figura 1) O layout funcional é separado por departamentos, no qual, cada um possui atividades especializadas. Este tipo de sistema é caracterizado pela elevada variedade e baixo volume. Cada produto apresenta uma operação, dessa maneira, cada um percorre um caminho visando atender as suas necessidades, apesar da disponibilidade próxima dos recursos.[4]

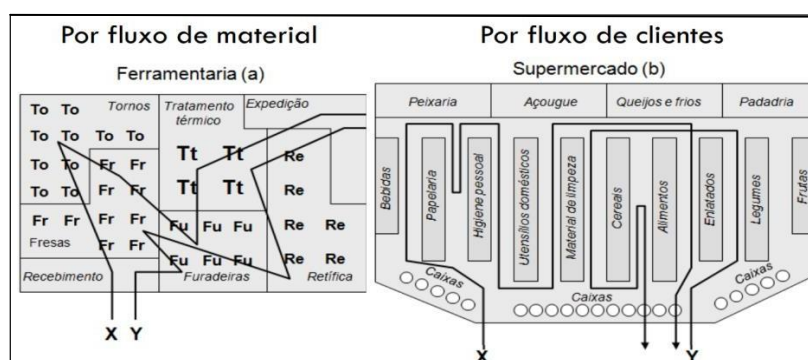


Figura 1: Exemplos de um Layout Funcional, representado por a) Ferramentaria e b) Supermercado.[1]

A formulação do problema de layout de áreas iguais foi dada por uma atribuição quadrática, que é demonstrada pelas equações de (1) a (4). Este modelo tem como intuito formular as instalações de n departamentos em n áreas específicas. [6]

Considerando para fins ilustrativos que os departamentos são indexados pelas letras i e j e as áreas por k

¹elaine.x.dias@gmail.com

²atanibal@gmail.com

³luiz.leduino@gmail.com

e h , tem-se a seguinte formulação:

$$\text{minimizar } z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ik} x_{ik} + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{h=1}^n d_{ikjh} x_{ik} x_{jh} \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^n x_{ik} = 1, k = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^n x_{ik} = 1, i = 1, \dots, n \quad (3)$$

$$x_{ik} = 0 \text{ ou } 1, \text{ para todo } i, k \quad (4)$$

A equação (1) mostra a função objetivo de minimização. O primeiro termo da formulação refere-se ao custo de transporte dado pela movimentação do departamento i para a área k quando existe a modificação do Layout em determinados períodos. O segundo termo menciona o custo gerado ao instalar um departamento em uma determinada área, dado pelo fluxo entre as áreas e pelo posicionamento dos departamentos i e j , à área k e h , respectivamente. A equação (2) demonstra que um processo necessariamente deve estar em alguma área. A equação (3) mostra que uma área deve receber somente um departamento e a equação (4) considera que a variável de decisão x_{ik} deve ser binária.

O presente trabalho visa estudar uma área composta por 10 departamentos, considerando modificações de arranjos ao longo do tempo. Além disso, será feito um estudo comparando as soluções finais dadas pelo emprego dos métodos exatos e a metaheurística Simulated Annealing. Como proposta futura, considerar layouts ainda mais complexos, com uma maior quantidade de departamentos, áreas desiguais e outras metaheurísticas.

Referências

- [1] H. Corrêa, C Henrique. *Administração de Produção e Operações - Manufatura e Serviços : Uma Abordagem Estratégica*, Editora Atlas, 2012;
- [2] J. A Tompkins, J. A White, Y.A. Bozer, E.H. Frazelle, J.M. Tanchoco and J. Trevino. *Facilities Planning*, Editora Wiley, New York, 1996;
- [3] M. R Garey, R. L Graham e D.S. Johnson. Some NP-Complete Problems, *Eight Annual Symp. on Theory of Compu*, 10-22, 1976;
- [4] N. Slack, S. Chambers, R, Johnston, *Administração da Produção*, 3ª edição, Editora Atlas, 2009;
- [5] SEBRAE NACIONAL, 04 de setembro, 2017, *O Layout da Fábrica Pode Interferir na Produtividade*, Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-layout-da-fabrica-pode-influir-na-produtividade,83bc438af1c92410VgnVCM100000b272010aRCRD>> 10 de março 2018;
- [6] T. C. Koopmans e M. Beckman. Assignment problems and the location of economic activities, *Cowles Foundation Discussion Papers*, 25:53-76, 1957;
- [7] W. J. Stevenson. *Operations Management*. 10ª edição. Editora McGraw-Hill Irwin, 2009.

Estudos sobre o Problema de Corte Unidimensional: modelagens matemáticas e métodos de solução

Vinicius Dias de Vasconcelos¹

Graduando do Bacharelado em Ciência da Computação - FC - Unesp Bauru

Sônia Cristina Poltroniere²

Docente do Departamento de matemática - FC - Unesp Bauru

O problema de corte de estoque tem papel importante no processo de produção industrial tais como na indústria de papel, aço, móveis e concreto, entre outras. Tal problema consiste na otimização do processo de corte de unidades maiores, denominadas objetos, em unidades menores, denominadas itens, de forma que um critério de otimização seja satisfeito como, por exemplo, minimizar o número de objetos cortados para o atendimento da demanda de itens. Uma característica importante do problema de corte de estoque é que muitos itens devem ser produzidos, porém, de poucos tipos. Para tanto, deve-se encontrar um conjunto de padrões de corte que serão repetidos um certo número de vezes. Um padrão de corte corresponde a uma maneira de cortar um objeto em itens de mesmo ou de diferentes tipos [1].

O problema de corte é classificado de acordo com o número de dimensões do objeto, relevante para o processo corte, podendo ser unidimensional, bidimensional ou tridimensional. Dessa maneira, na definição dos padrões do corte a serem utilizados em cada caso, algumas regras são necessárias. Neste trabalho, abordamos o problema de corte de estoque unidimensional, que ocorre quando apenas uma dimensão é relevante durante o processo de corte. O caso unidimensional pode ser identificado no planejamento da produção em indústrias papeleiras. Após a produção dos jumbos (bobinas grandes de papel), estes são cortados em bobinas menores de larguras especificadas (que podem ser cortadas na sequência em retângulos), para atendimento da demanda. O objetivo pode ser, por exemplo, minimizar o número de jumbos utilizados ou a perda de material durante o processo de corte.

Destaca-se que, nos últimos anos, baseado nos trabalhos de Gilmore e Gomory [2, 3], que propuseram a utilização do método simplex com a técnica de geração de colunas para resolver o problema de corte de estoque, pesquisadores têm trabalhado com a integração deste problema com outros problemas que surgem no planejamento da produção em indústrias de manufatura. Considerando a complexidade computacional do problema de corte de estoque e da sua integração com outros problemas, é de grande importância o envolvimento de profissionais especializados em lidar com ferramentas computacionais, que possam tornar as técnicas de solução já disponíveis mais eficientes e colaborar no desenvolvimento de novos métodos.

Valério de Carvalho [4, 5] propôs uma formulação alternativa para o problema de corte e empacotamento, considerando objetos idênticos ou de tipos diferentes em estoque. Trata-se de um problema de fluxo mínimo em um grafo orientado acíclico, com restrições adicionais impondo a satisfação da demanda. Então, determinar um padrão de corte válido para um

¹vinedias@gmail.com

²poltroniere.silva@unesp.br

objeto em estoque é modelado como o problema de determinar um caminho entre os vértices inicial e final do grafo.

Este trabalho tem como objetivo principal abordar duas modelagens matemáticas para o problema de corte de estoque unidimensional, considerando um único tipo de objeto em estoque: a modelagem usando a geração dos padrões de corte proposta por Gilmore e Gomory [2, 3] e a modelagem proposta por Valério de Carvalho [4, 5]. Tais abordagens foram implementadas e resolvidas usando um pacote de otimização (Python / Cplex) e os resultados serão apresentados e discutidos.

Referências

- [1] M. Arenales, V. Armentano, R. Morabito, H. Yanasse, *Pesquisa Operacional: para cursos de engenharia*. Editora Elsevier, Rio de Janeiro, 2015.
- [2] P. C. Gilmore, R. E. Gomory. A linear programming approach to the cutting stock problem. *Operations Research*, 9: 848-859, 1961.
- [3] P. C. Gilmore, R. E. Gomory. A linear programming approach to the cutting stock problem - Part II. *Operations Research*, 11: 863-888, 1963.
- [4] J. M. Valério de Carvalho. Exact solution of bin-packing problems using column generation and branch-and-bound. *Annals of Operations Research*, 86: 629-659, 1999.
- [5] J. M. Valério de Carvalho. LP models for bin packing and cutting stock problems. *European Journal of Operational Research*, 141: 253-273, 2002.

Formulações Matemáticas e Heurísticas para o Problema de Balanceamento e Sequenciamento de Linhas Flexíveis de Montagem e Manufatura: Comparações e Estudo de Caso

Marco Antonio Bonelli Junior¹
Universidade Estadual de Campinas
Cleber Damiano Rocco²
Universidade Estadual de Campinas

Linhas de montagem e manufatura são fluxos de sistemas produtivos e consistem em estações serializadas e conectadas de modo que um ou mais produtos sejam manufaturados em pequenos ou grandes volumes, de acordo com o padrão de demanda corrente. Em geral, o gerenciamento tático e operacional de linhas mistas de produção envolvem duas dimensões de planejamento: designar quais recursos serão responsáveis pela realização de uma determinada atividade e determinar a ordem nas quais as atividades serão executadas em cada estação de trabalho. Esses problemas são conhecidos na literatura, respectivamente, como *assembly line balancing problem* [1] e *job shop scheduling problem* [3].

Diversos autores dissertam sobre a importância destes problemas, sendo abordados na literatura de forma isolada ou conjunta (ver [2, 3]). Por um lado, o tratamento dos problemas de forma isolada traz vantagens quanto à solubilidade, permitindo a tratativa de problemas de maior porte. Por outro, não solucioná-los como um sistema único de decisão pode gerar resultados subótimos, causando perdas quanto a eficiência e produtividade em um ambiente real de aplicação. Porém, mesmo este tipo de problema sendo amplamente tratado na literatura, um ponto pouco estudado são os impactos da utilização de estoques intermediários em processos de produção *multi-level*.

Neste sentido, o presente trabalho possui como objetivos: (i) a proposição de um modelo determinístico integrado, sem a consideração de estoques intermediários; (ii) a proposição de um modelo determinístico integrado, com a consideração de estoques intermediários; (iii) a proposição de um tratamento heurístico para o problema considerando a inserção de estoques intermediários, sendo este resolvido de forma isolada e hierárquica; (iv) a comparação dos métodos construídos utilizando instâncias implementadas e (v) a realização de um estudo de caso demonstrando o grau de aplicabilidade das abordagens propostas e comparação dos resultados obtidos pelos métodos distintos.

Para desenvolver esta pesquisa, o pacote *Gurobi Optimizer*, bem como a linguagem de programação *Python*, serão utilizados para a implementação dos algoritmos determinísticos e heurísticos. Ademais, ressalta-se que os algoritmos propostos tem como intuito a obtenção de um melhor aproveitamento dos recursos [4] e a maximização do volume de produção total da linha.

¹m228351@dac.unicamp.br

²cleber.rocco@fca.unicamp.br

Referências

- [1] N. Boysen, M. Fliedner e A. Scholl. A classification of assembly line balancing problems, *European Journal of Operational Research*. Elsevier, 183: 674–693, 2007.
- [2] N. Boysen, M. Fliedner e A. Scholl. Assembly line balancing: which model to use when? *International Journal of Production Economics*. Elsevier, 111: 509–528, 2008.
- [3] N. Boysen, M. Fliedner e A. Scholl. Sequencing mixed-model assembly lines: survey, classification and model critique, *European Journal of Operational Research*. Elsevier, 192: 349–373, 2009.
- [4] Y. Ouazene, F. Yalaoui, H. Chehade e A. Yalaoui. Workload balancing in identical parallel machine scheduling using a mathematical programming method, *International Journal of Computational Intelligence Systems*. Taylor & Francis, 7: 58–67, 2014.

Heurísticas Para o Problema de Dimensionamento de Lotes Com Máquinas Paralelas Flexíveis

Melka Carolina Faria Catelan ¹

UNESP - Câmpus de São José do Rio Preto

Silvio Alexandre de Araujo ²

UNESP - Câmpus de São José do Rio Preto

Diego Jacinto Fiorotto ³

UNICAMP - Câmpus de Limeira

Este trabalho está relacionado ao problema de dimensionamento de lotes com máquinas paralelas flexíveis, que consiste basicamente em determinar a quantidade de itens a serem produzidos, em um horizonte de tempo finito, satisfazendo uma demanda. Este problema é de origem econômica e envolve custos de produção, estoque e preparação de máquinas. No problema padrão, cada item pode ser produzido em qualquer uma das máquinas, ou seja, têm-se a flexibilidade total de máquinas. No entanto nem sempre é viável ter flexibilidade total das máquinas, devido aos custos. Portanto, pode ser interessante implementar apenas uma flexibilidade limitada. A pesquisa foi baseada em um modelo proposto por Fiorotto et al. [1], que apresentam uma formulação que considera a possibilidade de investir em flexibilidade. O investimento de atualizar uma máquina para produzir um produto específico torna-se uma variável de decisão binária e há um orçamento global sobre as decisões de investimento. Os resultados computacionais realizados com o CPLEX mostraram que a formulação é muito difícil, especialmente para instâncias com muitos itens. Assim, a ideia deste trabalho consiste em propor três heurísticas para este problema, com intuito de conseguir boas soluções em baixos tempos computacionais. Resultados computacionais são apresentados comparando as heurísticas com os resultados obtidos com a resolução do modelo via pacote de otimização.

Referências

- [1] D. J. Fiorotto, S. A. de Araujo; R. Jans. Process Flexibility and the Chaining Principle in Lot Sizing Problems. *Internacional Journal of Production Economics*, 204: 244-263, 2018.

¹melka_cfc@hotmail.com

²silvio.araujo@unesp.br

³diego_ffiorotto@hotmail.com

Modelo multiobjetivo de otimização da produção/produktividade de cana-de-açúcar e cana-energia

Gilmar Tolentino¹

Aluno de pós graduação em Engenharia Elétrica – Unesp/Bauru

Antônio Roberto Balbo²

Departamento de Engenharia Elétrica – Unesp/Bauru

Sônia Cristina Poltroniere³

Departamento de Matemática – Unesp/Bauru

Helenice de Oliveira Florentino⁴

Departamento de Bioestatística – Unesp/Botucatu

Baseando se em [6], [5], [7] e [3], este trabalho visa a investigação de um modelo multiobjetivo que escolha a variedade de cana-de-açúcar que deve ser plantada e colhida nos talhões, levando em consideração a sua produtividade, de forma a maximizar a produção de sacarose e energia e minimizando o custo operacional de produção destas variedades. O estudo é estendido para o plantio e colheita da cana-energia, de tal forma a inseri-la no modelo, levando-se em consideração a otimização da sua produtividade em matéria seca para a geração de energia térmica considerando a minimização para a produção desta modalidade de cana. O modelo investigado poderá ainda considerar a incidência de Graus-Dia para determinar o melhor período para o plantio e colheita da cana-de-açúcar e cana-energia. Estes problemas de decisão, em geral são problemas de programação inteira com grande número de variáveis e restrições, sendo de difícil resolução, e neste caso, procedimentos híbridos que exploram métodos determinísticos e heurísticos poderão ser investigados para resolução, embasados em [4] e [1], bem como explorar a programação inteira 0-1 e genéticos, o método *branch-and-bound* ou *branch-and-cut*, visto em [2], entre outros. Para implementação deste modelo matemático será usada a linguagem de programação MatLab e o *software* CpLex inserido no Solver-Gams a fim de comparação de resultados.

A simulação computacional em [3] mostra que o modelo é válido na escolha das variedades tanto de cana-de-açúcar quanto de cana-energia a serem plantadas em seus respectivos talhões, sendo colhidas em períodos em que estas tendem à máxima capacidade de produção. Também mostra eficiência no planejamento otimizado de plantio e colheita a fim de atender as demandas mensais de produção da usina. Espera-se que, com a extensão do modelo para explorar o caso multiobjetivo e a introdução da função Graus-Dia, seja possível definir com mais detalhes as variedades de cana-de-açúcar e cana-energia que devem ser escolhidas para satisfazer toda a produção da usina levando-se em consideração as condições climáticas na região de plantio.

¹gilmartol@gmail.com

²arbalbo@fc.unesp.br

³poltroniere.silva@unesp.br

⁴helenice@ibb.unesp.br

Referência

- [1] A. R. Balbo, M. A. S. Souza, E. C. Baptista, L. Nepomuceno. Predictor-corrector primal-dual interior point method for solving economic dispatch problems: a post-optimization analysis. *Mathematical Problems in Engineering*, 2012:1–26, 2012.
- [2] M. S. Bazaraa e C. M. Shetty, *Nonlinear Programming: Theory and Algorithms*. John-Wiley & Sons, Inc., 1979.
- [3] A. S. Cavarsan. Modelo matemático para planejamento do plantio e colheita da cana-de-açúcar e da cana-energia. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Faculdade de Engenharia, Unesp, (2017).
- [4] D. E. Goldeberg. *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1989.
- [5] P. R. Isler. Planejamento ótimo de plantio e colheita da cana-de-açúcar utilizando graus-dias. Tese Doutorado em Agronomia, Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu, Unesp, (2016).
- [6] R. P. Ramos Planejamento do plantio e da colheita de cana-de-açúcar utilizando técnicas matemáticas de otimização. Tese de Doutorado em Agronomia, Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu, Unesp, (2014).
- [7] M. L. P. S. Souza. Planejamento otimizado do plantio e colheita da cana-de-açúcar para a maximização da produção de sacarose considerando uma demanda mensal da usina. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Faculdade de Engenharia, Unesp, (2017).

Modelo Multiobjetivo para Planejamento de Logística Reversa de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEE)

João Gabriel Hernandes¹

Universidade Federal de São Carlos – *campus* Sorocaba

Profa. Dra. Eli Angela Vitor Toso²

Universidade Federal de São Carlos – *campus* Sorocaba

Profa. Dra. Virgínia Aparecida da Silva Moris³

Universidade Federal de São Carlos – *campus* Sorocaba

A logística reversa tem papel fundamental na recuperação de valor de produtos pós-consumo. Operações de logística reversa para coleta e reciclagem de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) constituem uma oportunidade importante para essa recuperação, mas provocam dano ambiental considerável, características que tornam o tema muito interessante dos pontos de vista econômico e ambiental para empresas, órgãos governamentais e para a academia. Neste sentido, este trabalho propõe a otimização de uma rede logística para coleta de REEE no Brasil a partir de modelagem matemática multiobjetivo e multiperíodo, integrando as decisões de fluxo de materiais, instalação de centros de coleta, dimensionamento e definição de frota de veículos apropriados. Além de reduzir os custos financeiros, as operações logísticas também devem ser avaliadas em relação aos impactos ambientais, especificamente via alguns dos indicadores utilizados na metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV): consumo de combustível fóssil, potencial de mudança climática (ou potencial de aquecimento global) e emissão de material particulado tóxico ao ser humano. Testes preliminares com dados ilustrativos, baseados em um estudo de caso de uma empresa do setor, foram realizados para implementação e validação do modelo, incluindo sensibilizações nos pesos das funções objetivo e em diversos parâmetros de interesse, como o nível de impacto ambiental gerado pelos veículos, os custos de transporte e abertura de instalações e o nível de demanda pela coleta dos REEE. Os resultados apontam para a existência da relação de compromisso entre objetivos financeiros e ambientais e ressaltam a importância da escolha entre tipos de veículo, em grande parte porque os níveis de cada indicador de impacto ambiental variam de maneira diferente em resposta ao uso de cada uma das alternativas de veículo consideradas. Por exemplo, veículos movidos a etanol geram menos gases nocivos à atmosfera, mas quantidade semelhante de material particulado tóxico, quando comparados a veículos movidos a diesel. Foi observado que as diferentes escolhas de veículos causam alguns dos maiores impactos sobre as especificidades de cada solução e sobre o valor final de custo e dos objetivos ambientais.

¹hernandesjoaozinho@gmail.com

²eli@ufscar.br

³vimoris@ufscar.br

O Problema de dimensionamento de lotes com múltiplas plantas

Laís Baptista Barbosa¹

Aluna do curso de Engenharia de Produção, Faculdade de Engenharia - Unesp

Profª. Dra. Sônia Cristina Poltroniere²

Departamento de Matemática, Faculdade de Ciências - Unesp

O problema de dimensionamento de lotes (PDL), que surge no contexto do planejamento da produção industrial, tem gerado intensas pesquisas e aplicações nos últimos anos. As indústrias são cada vez mais incentivadas a otimizar seus processos, buscando utilizar seus recursos da melhor forma possível, não apenas pelo fator econômico, mas também pela preocupação com o meio ambiente.

O objetivo do PDL é basicamente obter um planejamento de produção que indique quais produtos devem ser produzidos, em que ordem, e em que quantidade, que satisfaça todas as restrições determinadas com o menor custo possível, dada uma linha de produção, demandas conhecidas e dentro de um horizonte de produção pré-estabelecido [1].

Em muitos problemas de dimensionamento de lotes, é necessário considerar o preparo das máquinas (setup), o qual considera o tempo e os custos necessários para a preparação da linha de produção, do momento em que as máquinas deixam de produzir um produto até o início da produção de outro. O setup deve incluir a troca de matérias-primas dentro das máquinas, o tempo de limpeza necessário para uma troca, a reorganização da linha de produção, ou até mesmo a reprogramação das máquinas. Trigeiro et al. [3] destaca a importância de considerar, além dos custos de preparação, os tempos gastos na preparação para a produção.

Algumas empresas, geralmente de grande porte, possuem mais de uma planta, que podem estar localizadas em diferentes cidades, estados ou até países. Com o intuito de atender a demanda dos clientes, os produtos produzidos por cada planta podem ser transportados entre elas, no entanto, esse transporte está relacionado a um custo. Ou seja, pode haver troca de produtos entre as plantas, se for economicamente viável e favorável.

Para obter melhores resultados, as empresas com múltiplas plantas devem elaborar um planejamento de produção coordenado, considerando simultaneamente a produção, o estoque e o transporte de cada planta, obtendo assim resultados mais efetivos do que se tratasse cada planta individualmente. Devido às dimensões dos problemas, coordenar o planejamento de produção integrado é uma tarefa de difícil solução.

Este trabalho tem como objetivo estudar a modelagem matemática do problema de dimensionamento de lotes com múltiplas plantas e métodos de solução. No nosso estudo, cada planta possui demanda própria para cada produto, para os períodos dentro de um horizonte de produção finito. Além disso, o objetivo do problema é minimizar os custos de produção, de preparação, de estocagem e de transporte de produtos. Silva [2] ilustra um plano de produção para um problema com dois períodos, três plantas e três produtos, apresentado na Figura 1.

¹laisbbarbosa23@gmail.com

²poltroniere.silva@unesp.br

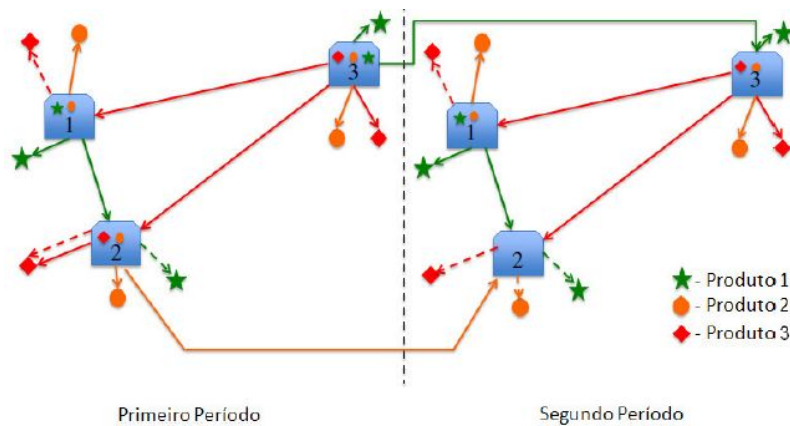


Figura 1: Exemplo plano de produção
 Fonte: Silva (2013)

Na Figura 1, a linha pontilhada vertical separa os períodos de tempo. Cada retângulo azul representa uma planta, o losango, círculo e estrela representam os produtos. A produção de um produto numa dada planta em cada período é ilustrado pelo desenho deste produto dentro da planta. Linhas cheias entre as plantas retrata transporte de produtos entre elas. Linhas cheias entre os períodos indicam o estoque de produtos. Linhas cheias saindo da planta indicam atendimento de demanda do produto por produção própria, enquanto as linhas pontilhadas indicam o atendimento da demanda de um produto pela produção em outra planta. A demanda de um produto pode ser atendida pela combinação de produção própria e de outra planta.

Referências

- [1] A. Drexel e A. Kimms. Lot sizing and scheduling - survey and extensions, *European Journal of Operational Research*, 99: 221-235, 1997.
- [2] D. Silva. Métodos híbridos para o problema de dimensionamento de lotes com múltiplas plantas, Dissertação de mestrado, ICMC, USP, São Carlos, SP, (2013).
- [3] Trigeiro W. W., Thomas L. G. McClain J. O. Capacitated lot sizing with setup times, *Management Science* 35. 3: 353-366, 1989.

O Problema de Dimensionamento de Lotes Integrado ao Problema de Transporte

Samanta Bellei Teixeira¹

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho- Campus São José do Rio Preto

Silvio Alexandre de Araujo²

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho- Campus São José do Rio Preto

Diego Jacinto Fiorotto³

Faculdade de Ciências Aplicadas/UNICAMP - Campus Limeira

O problema de dimensionamento de lotes consiste em determinar a quantidade de produtos a serem produzidos em cada período ao longo de um horizonte de tempo finito, de modo a atender certa demanda e otimizar uma função objetivo. Já o problema do transporte consiste em transportar produtos de fábricas para estoques, de estoques para clientes ou até mesmo o transporte direto de fabricante para clientes, também com o objetivo de otimizar uma função objetivo. Neste projeto propõe-se estudar estes dois problemas de forma integrada, onde uma mesma indústria define o tamanho do lote de produtos a serem confeccionados e transporta seus itens diretamente para clientes. Garantimos que no problema é possível que haja a produção de um ou mais itens em um único período dentro do horizonte de planejamento onde é possível a utilização de várias plantas para atender a demanda, além da possibilidade de atraso na entrega. O objetivo do trabalho consiste em realizar um estudo teórico do problema integrado, bem como flexibilidade de produção de cada indústria, propor novas formulações matemáticas e realizar um estudo computacional com o intuito de mostrar os benefícios que se obtém ao considerar esta integração.

Estamos em fase de implementação do modelo, realizando testes com pequenas instâncias de modo a analisar detalhadamente cada restrição do modelo inicial proposto.

Tendo em vista o alto grau de complexidade do problema proposto seu estudo tem como objetivo proporcionar meios mais vantajosos no processo de decisão de indústrias perante seus clientes, ou até mesmo com seus fornecedores. Durante o desenvolvimento deste projeto pretende-se consolidar os estudos de duas formulações clássicas, tanto o estudo computacional quanto teórico. Mais especificamente, deve-se fazer um estudo teórico detalhado das restrições, inclusive métodos de resolução, relaxações e análises de soluções, bem como, desenvolver exemplos para a análise computacional dos modelos matemáticos propostos. Porém, para formalizar os estudos teóricos, as formulações serão modeladas utilizando alguma linguagem de modelagem e serão apresentados resultados computacionais. Ao final do projeto espera-se contribuir com a organização da teoria que envolve o problema estudado. Além disso, espera-se ainda adquirir um bom conhecimento do problema integrado.

¹samantabellei@live.com

²saraujo@ibilce.unesp.br

³diego.fiorotto@fca.unicamp.br

Referências

- [1] D. J. Fiorotto, R. Jans, S. A. Araujo. The Integrated Lot Sizing and Transportation Problem, *Preprint Submitted to Computers & Operations Research*, 1-10, 2015.

O problema de disposição de fardos de algodão em uma indústria têxtil

Monique da Silva Baitinga¹

Universidade Federal do Triângulo Mineiro

Victor Claudio Bento de Camargo²

Universidade Federal de São Carlos

O problema da disposição de fardos de algodão auxilia em como organizar a disposição fardos de algodão de diferentes tipos e tamanhos na linha de abertura da indústria têxtil, visando maximizar a distância entre fardos de mesmo tipo, para assim aumentar a qualidade dos fios de algodão produzidos. Este problema assemelha-se com problemas de *Layout* de Facilidades [2].

O problema estudado é aplicado em indústrias do ramo têxtil visando aumentar a qualidade dos fios de algodão. A qualidade dos fios de algodão está diretamente relacionada à homogeneidade das misturas de algodão [3]. Ao utilizar o problema da mistura para selecionar a matéria-prima, fardos de diferentes procedências e característica comporão uma mistura [4]. Uma forma de aumentar a homogeneidade das misturas é alocar de maneira otimizada os fardos de algodão (distanciando os fardos de mesmo tipo) no processo realizado na linha de abertura, com o equipamento braço destacador. O Problema de Disposição de Fardos de algodão visa otimizar a organização dos fardos na linha de abertura.

Desta forma, os fardos de algodão são escolhidos *a priori* para compor uma mistura que garante a qualidade dos fios que devem ser produzidos. Os fardos têm diferentes tamanhos e fibras de diferentes qualidades. A disposição dos fardos na linha de abertura influencia na homogeneidade da mistura. Por exemplo: se os fardos da cor 1 forem dispostos em sequência na linha de abertura e, logo após, os fardos da cor 2, uma massa de algodão dessa cor 1 entrará no processo produtivo e somente depois, a massa de algodão da cor 2. Se, ao invés disso, os fardos das duas cores forem dispostos alternadamente, a massa de algodão entrará no processo produtivo de maneira mais homogênea.

O problema apresentado procura alocar n fardos de algodão de t características e tamanhos diferentes na linha de abertura, sem sobreposição, sendo proibido espaços entre os fardos de algodão. Cada fardo pode ser considerado do tipo fardo pequeno ou fardo grande, quando classificados em relação a tamanho. São dados do problema: n , o número de fardos que deverão ser alocados; np , a quantidade de fardos pequenos; ng , a quantidade de fardos grandes; t , o número de características; p_k , a quantidade de fardos pequenos do tipo de característica k e; g_k , a quantidade de fardos grandes do tipo de característica k . A distância entre dois fardos i e j , de mesmo tipo, em uma solução para o problema estudado é a distância horizontal entre os seus pontos de localização. A Figura 1 exemplifica uma solução factível para o Problema da Disposição de Fardos, considerando $n = 10$ e $t = 3$, sendo 4 fardos do tipo 1 (exemplificado pela cor verde), dos quais 2 são fardos pequenos (fardos 5 e 7) e dois são fardos grandes (fardos 1 e 7), 4 fardos do tipo 2 (azul), 3 fardos do tipo 3 (laranja).

¹msbaitinga@gmail.com

²victor.camargo@dep.ufscar.br

1	1	1	11	11	11	7
3	3	3	2	2	2	7
4	5	6	8	8	8	10
4	5	6	9	9	9	10

Figura 1: Uma disposição do problema estudado com 11 fardos e 3 tipos.

Um modelo matemático é proposto para maximizar a distância entre os fardos, além de um método de solução exato baseado na heurística de melhoramento 2-OPT.

O modelo foi baseado em uma formulação proposta para o problema de alocação de corredor (*CAP - The corridor allocation problem*) [1]. Ao variar o número de tipos de fardos de uma mistura, testes computacionais preliminares mostraram que o tempo de resolução aumenta, pois o número de restrições do modelo matemático aumenta exponencialmente, o que o torna inviável para aplicações em indústrias que possuem fardos de algodão com mais de 4 tipos de classificação.

Uma heurística 2-OPT foi implementada visando melhor desempenho computacional para a resolução do problema, que através de perturbações em uma solução factível inicial, obtida através de um algoritmo construtivo miope, realiza melhorias no valor da função objetivo. Apesar de proporcionar um melhor desempenho computacional, a heurística não é capaz de provar a otimalidade da solução.

Os resultados obtidos com os métodos propostos possibilitam à empresa obter soluções sistêmicas para o problema de disposição dos fardos para melhorar a homogeneidade das misturas de algodão.

Referências

- [1] A. R. Amaral. The corridor allocation problem, *Computers & Operations Research*, 39 (12):3325–3330, 2012.
- [2] J. Chung e J. M. A. Tanchoco. The double row layout problem, *International Journal of Production Research*, 48 (3):709 – 727, 2010.
- [3] A. T. Del Bianco. O problema da mistura na indústria de fiação têxtil, Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, (2016).
- [4] G. Zago. Otimização da composição da matéria-prima para uma indústria têxtil de grande porte, Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo, (2005).

Otimização do processo de corte de barras em uma indústria do ramo de molas

Pedro Rochavetz de Lara Andrade¹

Universidade Estadual Paulista – UNESP – Campus Bauru

Silvio Alexandre de Araujo²

Universidade Estadual Paulista – UNESP – Campus São José do Rio Preto

Adriana Cristina Cherri³

Universidade Estadual Paulista – UNESP – Campus Bauru

O problema de corte de estoque unidimensional multiperíodo trata do corte, em uma única dimensão, de um conjunto de objetos para a produção de itens menores em quantidades e tamanhos determinados. A cada período de produção de um horizonte finito, um problema de corte de estoque é resolvido para o atendimento de uma demanda, sendo que a produção de itens pode ou não ser antecipada, considerando um custo específico para estocagem [3]. O objetivo é capturar as interdependências entre a determinação do tamanho do lote e do processo de corte, a fim de reduzir o desperdício de matéria-prima e os custos de produção e estoque [1].

Neste trabalho, uma indústria de molas é estudada visando à otimização de seu processo de corte de barras, abordado com um problema de corte de estoque unidimensional multiperíodo. O objetivo é desenvolver uma ferramenta capaz de aplicar métodos exatos e heurísticos ao problema, reduzindo o desperdício de material e estoques de aço da empresa estudada. Espera-se também que a ferramenta desenvolvida se adapte à realidade de outras indústrias similares.

A Molas Fama está localizada em Apucarana-PR, atua no ramo de molas desde 1960. Possui cinco unidades e produz itens para a suspensão de veículos pequenos, médio e grandes. Este estudo está voltado para a unidade de Molas de Caminhão, cujos processos de produção estão ilustrados na Figura 1 a seguir.

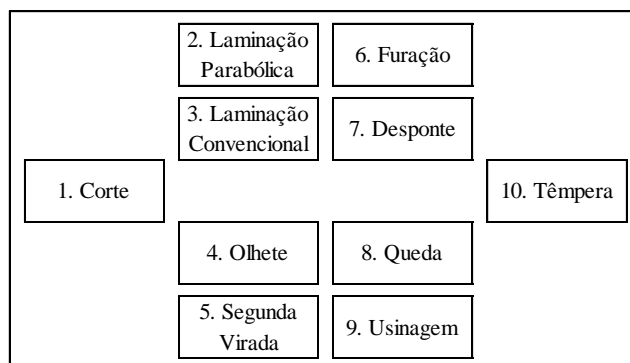


Figura 1: Processos de produção da Unidade de Molas de Caminhão.

¹pedro.rochavet@gmail.com

²silvio.araujo@unesp.br

³adriana.cherri@unesp.br

A respeito do processo de corte, sabe-se que o padrão de corte homogêneo (produção de apenas um tipo de item na barra) é amplamente utilizado, uma vez que os padrões de corte são produzidos manualmente. Além disso, existem duas máquinas de corte manual e uma máquina automática, cada uma com capacidades de produção distintas. O planejamento de produção semanal das máquinas de corte é atualizado diariamente com pedidos prioritários. O limite de perdas é, em média, 5% do tamanho da barra e a empresa usa cerca de 110 tipos diferentes de barras para produzir cerca de 710 tipos de itens.

O modelo matemático foi adaptado de [2] para considerar a demanda por objetos, capacidade em máquinas paralelas e limites de estoque para itens e objetos. Pretende-se fazer uma comparação entre a solução praticada pela empresa, gerada manualmente, e a solução alcançada pelo método proposto.

Referências

- [1] G. M. Melega, S. A. Araujo e R. Jans. Classification and Literature Review of Integrated Lot-Sizing and Cutting Stock Problems, *European Journal of Operational Research*, 271: 1-19, 2018.
- [2] K. C. Poldi e S. A. Araujo. Mathematical models and a heuristic method for the multiperiod one-dimensional cutting stock problem, *Annals of Operations Research*, 238: 497-520, 2016.
- [3] K. C. Poldi e M. N. Arenales. O problema de corte de estoque unidimensional multiperíodo, *Pesquisa Operacional*, 1: 153-174, 2010.

Otimização energética em sistemas de captação e distribuição de água

Ana Raquel Faccioli¹

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Unesp) - Bauru

Edilaine Martins Soler²

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Unesp) - Bauru

Maristela Oliveira dos Santos³

Universidade de São Paulo (USP) - São Carlos

A função dos sistemas de abastecimento de água é levar água à população em quantidade e qualidade suficientes de modo que suas necessidades sejam atendidas. Esse abastecimento de água é feito por meio de bombas hidráulicas para captar e transportar a água para os centros de consumo. As empresas de abastecimento pagam tarifas energéticas diferenciadas ao longo do dia, sendo que no horário de ponta no Brasil (das 18h às 21h) essa tarifa chega a ser cinco vezes maior.

Segundo [1] a programação do liga/desliga das bombas hidráulicas é uma das tarefas mais importantes em um sistema de abastecimento e os custos com esta operação representam a maior parte dos custos operacionais desses sistemas. Assim, nas últimas décadas têm sido propostos na literatura modelos e métodos de otimização para o planejamento da operação de bombas hidráulicas em sistemas de abastecimento.

Objetivando obter um modelo matemático mais próximo da realidade dos sistemas de abastecimento brasileiros, [2] propuseram um modelo matemático de otimização linear inteira mista para o problema de planejamento da operação de bombas hidráulicas baseado no modelo matemático de [3]. Neste projeto de pesquisa objetiva-se resolver este modelo por uma heurística do tipo relax-and-fix [4]. Testes numéricos serão realizados para analisar a eficiência da heurística relax-and-fix no problema em questão. Os resultados obtidos com o solver CPLEX serão comparados com os resultados obtidos com a heurística para analisar a qualidade das soluções obtidas.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP pela bolsa de iniciação científica (Processo número 2017/18444-3) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Processo número 313495/2017-3 (Bolsista CNPq)).

Referências

- [1] A. M. Bagirov, A. F. Barton, H. Mala-Jetmarova, A. Al Nuaimat, S. T. Ahmed, N. Sultanova, N. e J Yearwood. An algorithm for minimization of pumping costs in water distri-

¹raquel_faccioli@hotmail.com

²edilaine.soler@unesp.br

³mari@icmc.usp.br

- bution systems using a novel approach to pump scheduling. *Mathematical and Computer Modelling*, 57:3, 873-886, 2013.
- [2] I. G. Parras, L. M. Miquelin, E. M. Soler, M. O. Santos. Modelo Matemático para o planejamento da operação de bombas hidráulicas em sistemas de abastecimento. *Anais do V Encontro Regional de Matemática Aplicada e Computacional*, 2018
- [3] F. Toledo, M. O. Santos, M. N. Arenales, e P. Selegim Júnior. Logística de distribuição de água em redes urbanas: racionalização energética. *Pesquisa Operacional*, 28:1, 75-91, 2008.
- [4] Y. Pochet e L. A. Wolsey. *Production planning by mixed integer programming*. Springer Science and Business Media, 2006.

Planejamento da Produção Integrado ao Problema de Otimização da Utilização de Fôrmas

Caroline de Arruda Signorini¹

Silvio Alexandre de Araujo²

Depto de Matemática Aplicada, IBILCE/UNESP

Gislaine Mara Melega³

Depto de Engenharia de Produção, UFSCar

O principal objetivo deste trabalho é desenvolver uma ferramenta matemática/computacional para auxiliar a tomada de decisão no planejamento de produção em fôrmas. Por meio da colaboração com uma indústria de pré-moldados, tencionamos otimizar sua produção integrada, com foco na manufatura de lajes alveolares, baseado em informações fornecidas pela indústria durante visitas.

O processo de produção inicia com uma carteira de pedidos, onde a demanda do cliente é especificada incluindo o prazo de entrega. Em seguida, o gerente de processos planeja semanalmente, decidindo quais e quantas peças devem ser produzidas. Seguindo esta programação, o setor de montagem conduz o preparo das fôrmas, colocação de cordoalhas de aço, protensão, lançamento e cura do concreto, e desenforma. Com base nisso, propomos um modelo de Problema de Corte de Estoque Multiperíodo (veja Melega et. al [1]): consideramos a produção como o processo de corte de objetos grandes (as fôrmas) em pedaços menores (as lajes), de modo a minimizar o desperdício de matéria prima (cabo de aço) e custos de estoque, satisfazendo a demanda e a capacidade das fôrmas. Pretendemos melhorar este modelo e aplicar métodos de solução para os modelos estudados, como geração de coluna. Resultados computacionais baseados em dados reais serão obtidos.

Referências

- [1] G. M. Melega, S. A. Araujo, and R. Jans. Classification and Literature Review of Integrated Lot-Sizing and Cutting Stock Problems, *European Journal of Operational Research*, 271: 1-19, 2018.

¹carolineasignorini@gmail.com

²saraujo@ibilce.unesp.br

³gislainemelega@gmail.com

Planejamento e sequenciamento do processo de colheita da cana-de-açúcar

André Luis Martins Lopes¹

Doutorando do PPGEP, FEB-UNESP, Bauru/SP

Sônia Cristina Poltroniere²

Docente do Departamento de Matemática, FC-UNESP, Bauru/SP

Edilaine Martins Soler³

Docente do Departamento de Matemática, FC-UNESP, Bauru/SP

1 Introdução

Nos últimos anos, vários trabalhos da literatura têm proposto abordagens de otimização dos processos em usinas de cana-de-açúcar, relacionados à minimização de custos, à maximização da produção e da produtividade da cana, como também à geração de energia elétrica a partir de sua biomassa.

Recentemente, Junqueira e Morabito [3] propuseram abordagens de otimização para tratar a programação e o sequenciamento das frentes de colheita de cana-de-açúcar ao longo de um horizonte de planejamento multi-períodos. Tais abordagens são baseadas em modelos de programação inteira mista para o dimensionamento e sequenciamento de lotes em máquinas paralelas, visando apoiar as decisões de colheita, plantio e reforma dos blocos de colheita. Os experimentos computacionais foram realizados para uma instância com dados reais de pequeno porte, obtendo-se soluções ótimas e concluindo-se que é possível reduzir o excesso de recursos e buscar janelas de tempo que permitam operar com uma quantidade mínima de recursos.

Florentino et al. [2] abordaram o problema de programação da colheita da cana-de-açúcar também ao longo de um horizonte de planejamento de vários anos, propondo uma metodologia para melhorar a produção de POL (quantidade de sacarose contida em uma solução de açúcar) e a qualidade da matéria-prima, considerando as restrições impostas pelo moinho e a demanda por período. Os autores propõem um modelo matemático multiobjetivo para otimizar o plano de colheita e uma meta-heurística para resolver problemas de grande porte dentro de um tempo computacional apropriado. Apresentam uma análise comparativa entre o método heurístico e um método exato para instâncias pequenas, buscando validar o desempenho do modelo e do método de solução propostos.

O processamento da cana passa, obrigatoriamente, pela colheita e transporte da matéria-prima, que são operações complexas e com custos relativamente altos. Diante da dificuldade de planejamento destas operações, propõe-se, neste trabalho, um modelo de otimização linear inteira mista para o Problema de Planejamento da Colheita Mecanizada da cana-de-açúcar. O

¹andreluismartinslopes@hotmail.com

²poltroniere.silva@unesp.br

³edilaine.soler@unesp.br

modelo tem por objetivo determinar um sequenciamento otimizado da colheita nos talhões, a fim de minimizar os custos com o deslocamento da frente de colheita, e é baseado em um modelo de dimensionamento e sequenciamento de lotes de produção (DREXL & KIMMS [1]).

2 Abordagem de modelagem e solução do problema

O Problema de Planejamento da Colheita Mecanizada (PPCM) foi modelado como um problema de programação inteira mista, baseado no modelo integrado de dimensionamento e sequenciamento de lotes proposto na literatura. Nesta abordagem, o horizonte de planejamento é dividido em períodos e o sequenciamento da colheita nos talhões deve ser realizado, visando a minimização dos custos de locomoção da frente de colheita entre os talhões. Além disso, uma demanda pré-estabelecida deve ser atendida em cada período, respeitando-se a capacidade de colheita da frente nos períodos.

O modelo matemático proposto neste trabalho para o problema de sequenciamento da colheita mecânica da cana-de-açúcar foi resolvido utilizando o pacote de otimização CPLEX 12.6.

É importante destacar que os resultados obtidos nos testes computacionais são preliminares, com o intuito de realizar a validação do modelo matemático (PPCM) utilizado e identificar alterações necessárias no modelo matemático e no método de solução proposto. Pretende-se dar continuidade a este trabalho de pesquisa. Para isso, o problema de dimensionamento de lotes, de grande importância no planejamento da produção, deve ser considerado.

Como propostas futuras tem-se: visita em uma usina de cana-de-açúcar da região de Bauru, com o objetivo de colher dados reais e informações necessárias para o aprimoramento do modelo matemático que representa o problema, de forma que a realidade da usina seja considerada de maneira mais fidedigna; análise e ajuste dos parâmetros utilizados nestes teste iniciais, com base nos dados e informações obtidas na usina; revisão e adequação da técnica de solução utilizada; atualização da implementação do modelo matemático, a partir da realização dos passos anteriores; realização de testes computacionais mais consistentes, de forma que uma análise mais criteriosa seja realizada e conclusões mais abrangentes sejam obtidas.

3 Agradecimentos

Ao CNPq, Processo nº 313495/2017-3 (Bolsista CNPq).
À Fapesp, Processo nº 2016/01860-1.

Referências

- [1] A. Drexel e A. Kimms. Lot sizing and scheduling - Survey and extensions, *European Journal of Operational Research*, 99: 221-235, 1997.
- [2] H. O. Florentino, C. Irawan, A. A. Filho, D. F. Jones, D. R. Cantane e J. J. Nervis. A multiple objective methodology for sugarcane harvest management with varying maturation periods, *Annals of Operations Research*, 267: 153-177, 2017.
- [3] R. A. R. Junqueira e R. T. Morabito. Optimization approaches for sugarcane harvest front programming and scheduling, *Gestão & Produção*, 24: 407-422, 2017.

Problema de Replanejamento da Produção para Ambientes de Usinagem

Matheus Artioli Leandrin¹

UNESP Bauru, SP

Luiz Henrique Cherri²

Optimized Decision Making (ODM), São Carlos, SP

Adriana Cristina Cherri³

UNESP Bauru, SP

O problema de planejamento da produção consiste em definir previamente o quê, quando e a quantidade de itens que devem ser produzidos dentro de um horizonte de planejamento conhecido. Este tipo de problema é estudado no campo da pesquisa operacional como problema de dimensionamento de lotes e pode ser aplicado em diferentes ambientes produtivos.

O termo dimensionamento de lotes ou *lot sizing* tornou-se conhecido por meio de pesquisas que abordaram o problema de lote econômico de produção, tradicionalmente chamado de *economic order quantity* (EOQ). Os trabalhos pioneiros sobre PDL não consideravam a capacidade como restrição e eram aplicados à sistemas produtivos de único item. Entre os principais autores podemos citar, [2], [4] e [3].

Este trabalho aborda o problema de dimensionamento de lotes (PDL) capacitado, com múltiplos itens e máquinas paralelas, minimizando os custos de preparação e estoque. A demanda pode ser atendida com atrasos e utilização de horas-extras.

Esta pesquisa faz uma aplicação do problema de dimensionamento de lotes em ambientes de usinagem. Segundo [1], o ambiente de usinagem é caracterizado por interrupções como, falhas, retrabalhos, quebras e manutenções corretivas. Segundo o autor, as interrupções não são levadas em consideração durante o processo de planejamento da produção, pois a fase de planejamento contempla um horizonte de produção futuro, e em horizontes de planejamento futuros. As variáveis de interrupção possuem valores nulos, logo, as variáveis terão valores diferente de zero somente quando acontecer alguma quebra, retrabalho, ou manutenção corretiva, sempre no período atual. Isso implica em dizer que se acontecer qualquer interrupção, no período atual, o problema de planejamento deve ser atualizado considerando os valores assumidos pelas variáveis de interrupção, e este processo de atualizar todo o problema de planejamento da produção é chamado de replanejamento da produção. Neste trabalho, recebe o nome de problema de dimensionamento e replanejamento de lotes (PDRL).

O objetivo desta pesquisa é integrar o problema de dimensionamento de lotes ao problema de replanejamento da produção. A estratégia de resolução do problema integrado de dimensionamento e replanejamento de lotes está dividido em duas etapas. A primeira etapa consiste em resolver o problema de dimensionamento de lotes, através de métodos exatos da programação

¹matheus_leandrin@yahoo.com.br

²lhcherri@icmc.usp.br

³adriana@fc.unesp.br

inteira mista, e a segunda etapa consiste em resolver o problema de replanejamento de lotes considerando todos os elementos causadores de interrupção. Para esta pesquisa foram considerados dois elementos causadores de interrupção: manutenção corretiva e quebra de ferramentas.

Referências

- [1] A. S. Chandar, Optimizing lot sizing and establishing supermarkets in a multi-part, limited-capacity manufacturing system, Master Dissertation of Engineering Manufacturing, Massachusetts Institute of Technology, (2014).
- [2] F. H. Harris. How many parts to make at once, *The Magazine of Management*, 10:135–136, 1913.
- [3] A. S. Manne. Programming of economic lot sizes, *Management Science*, 4:115–135, 1958.
- [4] H. Wagner e T. Whitin. Dynamic version of the economic lot size model, *Management Science*, 5:89–96, 1958.

Problema Integrado na Otimização do Processo Produtivo de uma Indústria de Móveis

Marcelo Leite Alves Wanderley¹

IMECC - UNICAMP

Kelly Cristina Poldi²

IMECC - UNICAMP

Carla Taviane Lucke da Silva Ghidini³

FCA - UNICAMP

No setor industrial, o custo de maior relevância é o custo das mercadorias vendidas (CMV), o qual tem uma forte correlação com a venda e uma perda inerente a qualquer processo fabril. Já os demais custos da empresa apresentam características bastante controláveis, como por exemplo, o custo com a mão-de-obra, que é altamente regulamentado no caso brasileiro. O objetivo do administrador de empresa é maximizar o lucro. Logo, se para um nível fixado de vendas, o CMV for minimizado, um lucro máximo será obtido e, conseqüentemente, um maior fluxo de caixa.

O setor moveleiro do Brasil é altamente voltado para o mercado interno representando 96,4% das vendas totais. Este mercado, por sua vez, está concentrado em móveis domésticos com 67,7% das vendas, representando 65,2% do mercado total (BRADESCO, 2016). Além disso, o insumo básico utilizado na fabricação dos móveis corresponde a aproximadamente 85% do custo total. Como existem mais de 18 mil empresas fabricantes de móveis, nenhuma empresa domina o mercado ao ponto de possuir custos de insumo substancialmente menores. Adicionalmente, a indústria moveleira apresenta baixa barreira de entrada, pois o investimento necessário pode ser financiado quase na sua totalidade pelo BNDES a juros bem abaixo do praticado pelos bancos comerciais e toda a inovação tecnológica fica ao encargo dos fabricantes de MDP e MDF. Devido a essas características podemos classificar a indústria de móveis retilíneos como um modelo de empresa competitiva e, portanto, para maximizar os lucros devemos necessariamente minimizar o CVM.

Neste trabalho, propomos minimizar o CVM no processo produtivo de uma indústria que fabrica móveis retilíneos seriados a partir do corte de placas retangulares de madeira (MDP e MDF). Neste tipo de indústria, o planejamento e programação da produção, basicamente consiste em determinar quais e quantos produtos finais (dimensionamento de lotes) devem ser produzidos em cada um dos períodos do horizonte de planejamento, de forma a atender à demanda, não violar a capacidade de produção e minimizar custos de produção, preparação de máquina, estoque de produtos e perda de matéria-prima. A quantidade de peças necessária para a confecção dos produtos é obtida com o corte de placas grandes em peças menores utilizando diferentes padrões de corte, os quais são projetados para gerarem a menor perda de material possível. Na prática, geralmente, as indústrias de móveis resolvem os problemas de dimensionamento de lotes e corte de estoque separados, ou seja, inicialmente, são determinados os tamanhos

¹marceloleitew@gmail.com

²kellypoldi@ime.unicamp.br

³carla.ghidini@fca.unicamp.br

dos lotes a serem produzidos, com essa informação, a quantidade de cada tipo de peça que deve ser cortada é calculada e, então os melhores padrões de corte são gerados. Entretanto, otimizar esses problemas de forma independente pode gerar soluções ruins (ou mesmo inviáveis) do ponto de vista dos altos custos totais e do aumento do desperdício de material, principalmente, no setor moveleiro em que a matéria-prima representa uma parcela significativa do custo do produto.

A indústria de móveis considerada é uma unidade nova, inaugurada no início de 2018 no interior do estado de São Paulo, e foi projetada para a fabricar 9 tipos de roupeiro. No entanto, atualmente, somente 5 tipos em 4 diferentes cores estão sendo fabricados. Cada lote de produção consiste de um único tipo de produto, não existe uma quantidade significativa de itens comuns entre os roupeiros e nenhum item é formado por sub-itens. Com o objetivo de reduzir o custo total de produção desta indústria, consideramos o modelo matemático de programação linear inteiro misto proposto em Ghidini (2008) para representar o problema integrado de dimensionamento de lotes e corte de estoque presente no processo produtivo. A fim de amenizar o efeito da estocasticidade da demanda, que é comum nesse tipo de indústria, a estratégia de horizonte de planejamento rolante é considerada. Para a resolução do modelo integrado um método heurístico baseado no método simplex com a técnica de geração de colunas foi implementado. Diversos experimentos computacionais com exemplares gerados a partir dos dados reais serão realizados e os resultados obtidos serão analisados e comparados com a solução atualmente utilizada pela indústria.

Referências

- [1] DEPEC - Bradesco. Indústria de Móveis, (2016). Disponível em: https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_industria_de_moveis.pdf
- [2] C. T. L. S. Ghidini. Otimização de processos acoplados: programação da produção e corte de estoque, Tese de Doutorado em Matemática Computacional, ICMC - USP, (2008).

Reformulações para o problema de dimensionamento de lotes: Um estudo inicial

Maurício Rocha Gonçalves¹
IBILCE/UNESP
Silvio Alexandre de Araujo²
IBILCE/UNESP

O objetivo deste trabalho consiste em estudar reformulações fortes para o problema de dimensionamento de lotes considerando a possibilidade de atrasos no atendimento à demanda. Tais reformulações se baseiam no problema de localização de facilidades seguindo o raciocínio das propostas em [2] e [3]. Provas de equivalências entre as formulações estudadas foram desenvolvidas e as reformulações foram implementadas em linguagem de modelagem e resolvidas por pacotes de otimização com o objetivo de compará-las. As definições para as variáveis são as seguintes:

$X_{i,t}$: Quantidade do item i produzida no período t .
 $Y_{i,t}$: Preparo da produção do item i no período t .
 $Qe_{i,t}$: Quantidade em estoque do item i ao final do período t .
 $Qe_{i,0}$: Quantidade em estoque do item i antes do início do horizonte de planejamento.
 $Qa_{i,t}$: Quantidade em atraso do item i ao final do período t .
 $Fc_{i,t}$: Fração da demanda do item i no período t em estoque antes do início do horizonte de planejamento.
 $Fd_{i,t,k}$: Fração da demanda do item i no período k produzida no período t .

A seguir temos o modelo clássico encontrado em [1] e em seguida a reformulação proposta pelo trabalho:

Formulação Clássica:

$$\text{Min} : \sum_{i=1}^N \left(ce_{i,0} Qe_{i,0} + \sum_{t=1}^T (cpu_{i,t} X_{i,t} + cp_{i,t} Y_{i,t} + ce_{i,t} Qe_{i,t} + pa_{i,t} Qa_{i,t}) \right) \quad (1)$$

Sujeito à:

$$Qe_{i,t-1} + X_{i,t} + Qa_{i,t} = d_{i,t} + Qe_{i,t} + Qa_{i,t-1} \quad \forall i; \forall t \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N (tpu_{i,t} X_{i,t} + tpi_{i,t} Y_{i,t}) \leq Cap_t \quad \forall t \quad (3)$$

¹mauriciochagon@gmail.com

²saraujo@ibilce.unesp.br

$$X_{i,t} \leq Y_{i,t} \sum_{p=1}^T d_{i,p} \quad \forall i; \forall t \quad (4)$$

$$Y_{i,t} \in \{0, 1\}; X_{i,t}, Qe_{i,t}, Qa_{i,t} \in \mathbb{N}; Qa_{i,0} = Qa_{i,T} = 0 \quad \forall i; \forall t \quad (5)$$

Reformulação por Localização de Facilidades:

$$\text{Min} : \sum_{i=1}^N \left(\sum_{t=1}^T (cc_{i,t} Fc_{i,t} + cp_{i,t} Y_{i,t} + \sum_{k=t}^T cd_{i,t,k} Fd_{i,t,k}) + \sum_{t=2}^T \sum_{k=1}^{t-1} cb_{i,t,k} Fb_{i,t,k} \right) \quad (6)$$

Sujeito à:

$$Fc_{i,k} + \sum_{t=1}^T Fc_{i,t,k} = 1 \quad \forall i; \forall k \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^N \left(tp_{i,t} Y_{i,t} + \sum_{k=1}^T d_{i,k} Fd_{i,t,k} \right) \leq Cap_t \quad \forall t \quad (8)$$

$$Fd_{i,t,k} \leq Y_{i,t} \quad \forall i; \forall t; \forall k \quad (9)$$

$$Y_{i,t} \in \{0, 1\}; Fc_{i,t}, Fd_{i,t,k} \in [0, 1]; \quad \forall i; \forall t; \forall k \quad (10)$$

Com as definições feitas foi possível estabelecer relações entre as variáveis dos problemas e demonstrar que as restrições (1) e (6); (2) e (7); (3) e (8); e (4) e (9) são equivalentes dados os intervalos (5) e (10), respectivamente. Testes computacionais foram realizados com a finalidade de comparar o desempenho de ambas as formulações. Assim como o caso sem atrasos, a reformulação para o problema proposto também obteve limitantes inferiores melhores para as relaxações, gerou menos nós na árvore de solução e, conseqüentemente, menos cortes. Desse modo, pode-se perceber que a reformulação proposta é mais forte que a formulação clássica.

Referências

- [1] M. Arenales, V. Armentano, R. Morabito e H. Yanasse. *Pesquisa operacional: para cursos de engenharia*. Elsevier Brasil, Rio de Janeiro, 2015.
- [2] K. Akartunli, J. Genunes, L. Shi, T. Wu. An optimization framework for solving capacitated multi-level lot-sizing problems with backlogging, *European Journal of Operational Research*, 214: 428-441, 2011.
- [3] S. A. de Araujo, Z. Degraeve B. D. Reyck, L. Fragkos, R. Jans. Period Decompositions for the Capacitated Lot Sizing Problem with Setup Times, *INFORMS Journal on Computing*, 27: 431-448, 2015.

Resolução de Problemas por Grafos Eulerianos

Drielly Alves de Carvalho¹

Curso de Licenciatura em Matemática, ICENE, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba-MG
Michelli Maldonado²

Departamento de Matemática, ICENE, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba-MG

Na cidade de Königsberg na Alemanha, passava-se um rio que dividia a cidade em quatro partes e para interligar estas partes, tinham sete pontes. Os moradores tinham a seguinte dúvida, será que é possível fazer um caminho que passe por todas as pontes uma única vez? Leonhard Euler em 1736, afirmou ser impossível traçar um caminho que passe só uma vez por cada ponte e, no final, tenha atravessado todas elas, a partir de então surgiu a Teoria dos Grafos. ([1])

Existem diversos tipos de grafos que podem ser utilizados para resolver problemas reais, entre eles os grafos Eulerianos, os quais são grafos em que é possível encontrar um caminho que passe por todas as arestas uma única vez. Uma condição necessária para um grafo ser Euleriano de acordo com o teorema de Euler é que todos os seus vértices possuam grau par, se o grafo for Euleriano é possível passar por cada aresta uma única vez. Em casos em que o grafo não é Euleriano será necessário a aplicação de algoritmos entre eles o algoritmo de Dijkstra para determinar um grafo Euleriano.

De acordo com [2], as aplicações de grafos Euleriano são infinitas, em geral os problemas buscam encontrar o caminho mínimo de forma a minimizar custo, distância e tempo. Se o objetivo é percorrer o menor caminho possível, então é viável que se passe por cada aresta uma única vez. Em casos reais como coleta de lixo, as rotas de ônibus, leiturismo de energia, entre outros, basta que faça a representação do problema através de um grafo e verifique se ele é ou não Euleriano. Se ele for será possível resolver o problema, se o grafo não for Euleriano basta aplicar os algoritmos e transformá-lo em Euleriano para resolver o problema.

O objetivo do trabalho é observar casos em que o grafo não é Euleriano, serão definidas as condições necessárias para esta classificação de grafos e qual a melhor maneira de resolver o problema de acordo com suas características, levando em consideração a ideia de minimização.

Referências

- [1] P. O. Boaventura Netto. *Grafos: Teoria, Modelos, Algoritmos*, Blucher, São Paulo, 2011.
- [2] P. P. Costa. *Teoria de Grafos e suas Aplicações*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, (2011).

¹Bolsista Pet Matemática, driellyalves2504@hotmail.com

²michellimaldonado@gmail.com

Stability Properties of a Empiric-based Model for Biohydrogen Production

Felipe Teles¹

Departamento de Bioestatística/IBB/Unesp

Helenice O. Florentino²

Departamento de Bioestatística/IBB/Unesp

Hydrogen (H₂) is the most abundant chemical element in the universe and, nowadays, it is the only fuel known that has no carbon atoms in its molecular structure. Furthermore, it is a colorless, tasteless, odorless and non-toxic substance, which releases only steam when burns, distinctly from fossil fuels and carbon-based fuels, as methane (CH₄) [5].

Hydrogen obtained from bioprocesses is called biohydrogen (bioH₂) and its production by dark fermentation (DF) is an alternative to clean and renewable energy generation, due to it could be carried out at ambient temperatures and pressures. Moreover, many types of raw material have potential to be converted in biohydrogen, e.g. wastewater from food-processing industries, which plays an important role in organic waste treatment.

The purpose of this work was to develop a mathematical model which represents organic residuals bioconversion into biohydrogen through mass flow balance equations and study its stability properties. We propose the mathematical model represented by the System of Equations below, which was based on the experiments of [5] through mass balance [4,6].

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{S}_1 = -\mu_1 X_1 Y_{X1/S2} \\ \dot{S}_2 = \mu_1 X_1 Y_{X1/S2} - \mu_2 X_2 \Gamma_1 \\ \dot{S}_3 = \mu_2 X_2 Y_{X2/S3} - \mu_3 X_3 \Gamma_2 \\ \dot{P}_1 = \mu_2 X_2 Y_{X2/P1} - \mu_3 X_3 Y_{X3/P1} \\ \dot{P}_2 = \mu_2 X_2 Y_{X2/P2} - \mu_3 X_3 Y_{X3/P2} \\ \dot{P}_3 = \mu_2 X_2 Y_{X2/P3} - \mu_3 X_3 Y_{X3/P3} \\ \dot{X}_1 = \mu_1 X_1 \\ \dot{X}_2 = \mu_2 X_2 \\ \dot{X}_3 = \mu_3 X_3 \end{array} \right.$$

¹ felipe.teles@unesp.br

² helenice.silva@unesp.br

where

$$\mu_1 = \left(\frac{\mu_{max,1} S_1}{S_1 + k_{S1}} \right) \left(\frac{1}{1 + S_2/k_1} \right),$$

$$\mu_2 = \left(\frac{\mu_{max,2} S_2}{S_2 + k_{S2}} \right) \left(\frac{1}{1 + \frac{(S_3 + P_1 + P_2 + P_3)}{k_2}} \right),$$

$$\mu_3 = \left(\frac{\mu_{max,3} S_3}{S_3 + k_{S3}} \right) \left(\frac{1}{1 + \frac{(P_1 + P_2 + P_3)}{k_3}} \right)$$

and $S_1, S_2, S_3, P_1, P_2, P_3, X_1, X_2$ and X_3 are, in this order, industrial wastewater, glucose, propionate, acetate, carbon dioxide, bioH₂ and hydrolytic, acidogenic and acetic bacteria, μ_1, μ_2 and μ_3 are specific growth velocity of these bacteria. Yields are represent by Y_{XS} or Y_{XP} , saturation constants by k_S , inhibition constants by k and all of these are real positive numbers.

Main results about stability [1,2,3] will be shown at the event, however, this study is very important to define a feasible region in \mathbb{R}^9 wherein we can maximize bioH₂ production.

Referências

- [1] B. Buonomo e M. Cerasuolo. Stability and bifurcation in plant–pathogens interactions, *Applied Mathematics and Computation*, 232: 858-871, 2014.
- [2] B. Buonomo e M. Cerasuolo. The effect of time delay in plant--pathogen interactions with host demography, *Mathematical Biosciences & Engineering*, 3: 473-490, 2015.
- [3] C. Jammazi. On a sufficient condition for finite-time partial stability and stabilization: applications, *IMA Journal of Mathematical Control and Information*, 27: 29-56, 2010.
- [4] M. Roman e D. Selişteanu. Modeling of microbial growth bioprocesses:Equilibria and stability analysis, *International Journal of Biomathematics*, 5: 1-21, 2016.
- [5] B. B. Romão, F. R. X. Batista, J. S. Ferreira, H. C. B. Costa, M. M. Resende e V. L. Cardoso. Biohydrogen Production Through Dark Fermentation by a Microbial Consortium Using Whey Permeate as Substrate. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 172: 3670-3685, 2014.
- [6] W. Schmidell, W. Borzani, U de Almeida e E. Aquarone. *Biotecnologia Industrial - Volume II: Engenharia Bioquímica*. Blucher, São Paulo, 2001.

Um Estudo sobre heurísticas de arredondamento para o problema do corte de estoque bidimensional

Cheienne Chaves¹

Socorro Rangel²

UNESP - São José do Rio Preto

O Problema de Corte de Estoque Bidimensional (*PCE2D*), consiste em cortar objetos grandes, que estão em estoque, em peças menores, chamadas de itens, de acordo com algum critério de otimização. O critério usual é minimizar a quantidade de objetos utilizados. Mas outros critérios podem ser considerados, por exemplo, minimizar o número de padrões de corte [2], minimizar os ciclos da serra [7], tratados isoladamente (problema mono-objetivo) ou em conjunto (problema multiobjetivo). Existem diversas situações que podem ser consideradas ao se resolver o *PCE2D* [8].

O foco desse trabalho é o *PCE2D* voltado para fábricas que produzem móveis do tipo retilíneo [6]. A maneira como um objeto é cortado é chamada de padrão de corte. Para elaborar os padrões de corte nesse contexto é necessário considerar a restrição da máquina de corte que permite apenas cortes guilhotinados. Toda vez que a direção do corte muda dizemos que há um novo estágio. Quanto maior o número de estágios maior será o aproveitamento do objeto, no entanto irá requerer mais tempo de operação da máquina, o que pode diminuir a produtividade. Por esse motivo, vamos considerar que o corte é feito em dois estágios.

Supondo que existe apenas um tamanho de objeto em estoque, em quantidade ilimitada, e que são conhecidos todos os n padrões de corte possíveis, o *PCE2D* pode ser representado através do modelo (1).

$$\begin{aligned} & \text{minimizar} && \sum_{j=1}^n x_j \\ & \text{sujeito a} && \sum_{j=1}^n A_j x_j \geq b, \\ & && x_j \geq 0, \quad x_j \in \mathbb{Z}, \quad j = 1, \dots, n. \end{aligned} \tag{1}$$

Em que A_j representa o padrão de corte j , $j = 1, \dots, n$, x_j representa o número de objetos cortados de acordo o padrão j e $b \in \mathbb{Z}^m$ o vetor das demandas dos itens.

Gilmore e Gomory [3] propuseram resolver a relaxação linear de (1) utilizando o método simplex com a geração de colunas. Como o problema é resolvido de forma relaxada, não há garantias que a solução encontrada será inteira. No entanto, a partir da solução contínua é possível obter uma solução inteira factível, por exemplo fazendo $x_j = \lceil x_j \rceil$, ou aplicando heurísticas de arredondamentos, ou ainda usando o método *branch-and-price*. O uso da função teto para obter uma solução inteira factível pode provocar uma produção de itens muito acima da demanda, o

¹cheiennechaves@gmail.com

²socorro.rangel@unesp.br

que pode gerar custos de estoque de itens e dificuldades no gerenciamento dos itens excedentes. Por isso o interesse no desenvolvimento de heurísticas de arredondamentos, em particular nas heurísticas residuais.

A ideia básica da Heurística Residual é gerar um número reduzido de padrões de corte (B uma submatriz de A) e na determinação da frequência inicial associada. É verificado quanto da demanda atual é atendida e a demanda não atendida, é chamada de “demanda residual”. A cada iteração um problema residual é obtido fazendo-se $b = r$. O problema a ser resolvido na última iteração é chamado de Problema Residual Final.

Nesse trabalho fazemos uma discussão das heurísticas residuais propostas em Poldi e Arenales [4] adaptadas para o caso bidimensional e da heurística proposta por Cui e Zhao [1]. Apresentamos resultados parciais de um estudo computacional desenvolvido usando dados da literatura baseados em casos reais e gerados aleatoriamente. É de interesse incorporar heurísticas de arredondamento no Sistema CorteBiFur [5], que é um sistema online e gratuito para resolver o *PCE2D*. Atualmente o sistema CorteBiFur emprega o método simplex com geração de colunas e a função teto para obter soluções factíveis para o *PCE2D*.

Referências

- [1] Y. Cui e Z. Zhao. Heuristic for the rectangular two-dimensional single stock size cutting stock problem with two-staged patterns , *European Journal of Operational Research*, 231: 288-298, 2013.
- [2] A. Filho, A. C. Moretti e M. Pato. A comparative study of exact methods for the bi-objective integer one-dimensional cutting stock problem, *Journal of the Operational Research Society*, 69: 1-18, 2017.
- [3] P. C. Gilmore e R. E Gomory. Multistage cutting stock problems of two and more dimenions, *Operations Research*, 13: 94-120, 1965.
- [4] K. C. Poldi e M. N. Arenales. Heurísticas para o problema de corte de estoque unidimensional inteiro *Pesquisa Operacional*, 26: 473-492, 2006.
- [5] S. Rangel, *et al.* CorteBiFur.
Disponível em: <https://www.dcce.ibilce.unesp.br/cortebifur/login.jsf>
- [6] S. Rangel e A. G. Figueiredo. O problema de corte de estoque em indústrias de móveis de pequeno e médio portes, *Pesquisa Operacional*, 28: 451-472, 2008.
- [7] A. Toscano, S. Rangel, e H. H. Yanasse, Horacio Hideki . A heuristic approach to minimize the number of saw cycles in small-scale furniture factories. *Annals of Operations Research*, v. 258, p. 719-746, 2017.
- [8] G. Wäscher, H. Haußner, e H. Schumann. An improved typology of cutting and packing problems, *European Journal of Operational Research*. 18: 1109-1130, 2007.

Uma breve revisão dos Principais Conceitos, Métodos de Resolução e Resultados para Problemas de Otimização Multiobjetivo

Jennifer Cristina Borges¹

Socorro Rangel²

Universidade Estadual Paulista-UNESP/Departamento de Matemática Aplicada

Neste trabalho apresentamos uma visão geral dos principais estudos teóricos realizados sobre a otimização multiobjetivo. Com base nesse conhecimento será possível desenvolver o projeto de pesquisa que visa apresentar resultados significativos para a comunidade acadêmica utilizando uma abordagem multiobjetivo para o problema de corte de estoque bidimensional.

A solução de um problema multiobjetivo é dada por um conjunto não unitário de soluções, ditas eficientes no sentido de Pareto, de maneira que um objetivo não pode ser minimizado sem aumentar o outro e vice-versa [1].

Apresentamos os conceitos básicos de otimização multiobjetivo tais como: espaço critério, vetor ideal, vetor utópico, dominância, solução eficiente, ponto não dominado, solução fracamente eficiente, ponto fracamente não dominado, soluções e pontos suportados e vetor nadir. O vetor ideal e o vetor nadir são os pontos lexicográficos da fronteira de Pareto. Os métodos mais utilizados para resolver problemas multiobjetivos são o método da soma ponderada e o método ϵ -restrito.

O método da soma ponderada consiste em tomar uma combinação convexa de cada função-objetivo considerada, atribuindo pesos para cada uma delas (variando os pesos obtemos outras soluções eficientes distintas), assim tornando o problema monoobjetivo. A dificuldade deste método está na atribuição desses pesos, não devemos permitir que a magnitude de cada função-objetivo afete a geração de soluções eficientes. Quando o problema é convexo, através da soma ponderada é possível encontrar todas as soluções eficientes e a fronteira de Pareto será convexa desde que os pesos sejam adequadamente variados.

O método ϵ -restrito consiste em manter apenas um dos objetivos como critério de otimização e incluir no conjunto de restrições inequações que limitam superiormente os demais objetivos por ϵ_j (um limite superior para cada objetivo). Com esse método é possível gerar todo o conjunto de soluções eficientes, variando parametricamente ϵ_j .

A principal diferença entre os dois métodos é que o método ϵ -restrito pode ser aplicado a qualquer problema com o espaço de critério convexo ou não convexo enquanto que a abordagem da soma ponderada não pode encontrar certas soluções ótimas de Pareto no caso de um espaço de critério não convexo. A região factível do problema ϵ -restrito varia, enquanto que no método de soma ponderada apenas a função-objetivo sofre alterações. Outra dificuldade do método ϵ -restrito é que ele depende em grande parte do vetor ϵ escolhido, ele deve ser escolhido de forma que fique dentro dos valores mínimos ou máximos da função objetiva individual imposta

¹jennifercristinamat@gmail.com

²socorro.rangel@unesp.br

como restrição. Além disso, à medida que o número de objetivos aumentam, existem mais elementos no vetor ϵ , exigindo assim mais informações sobre o problema [4].

Em algumas abordagens do problema de corte de estoque a minimização do número de setup é considerada um critério de otimização. Em alguns casos encontramos esse critério representado por uma função não convexa [3]. Com isso surge a necessidade de trabalhar com uma classe de funções um pouco mais geral. Em [2, 5] são apresentados resultados importantes para otimização multiobjetivo utilizando a invexidade. São definidas relações entre soluções eficientes e os pontos críticos de Kuhn-Tucker. Com a introdução das funções invexas, é estabelecida a equivalência entre o mínimo global de uma função escalar e um ponto estacionário. Em um problema monoobjetivo a invexidade é uma condição suficiente mas não necessária para que um ponto crítico resulte em uma solução ótima. Assim é introduzido o conceito KT-Invexidade que é uma condição necessária e suficiente para que um ponto crítico de Kuhn-Tucker seja uma solução ótima. Com isso é possível estender alguns resultados importantes da otimização monoobjetivo para problemas multiobjetivos através do conceito de KT-pseudoinvexidade.

Prendemos usar os conceitos apresentados para resolver problemas de corte de estoque bidimensional multiobjetivo considerando como critérios de otimização: minimizar números de setup, números de ciclos da serra e números de objetos cortados.

Referências

- [1] A. Aliano Filho. Novas Extensões de Técnicas de Escalarizações no Problema de Corte Unidimensional Inteiro Multiobjetivo. Tese de doutorado, Universidade Estadual de Campinas, IMECC - Campinas, (2016).
- [2] M. Arana, A. Rufián, R. Osuna e G. Ruiz. Pseudoinvexity, optimality conditions and efficiency in multiobjective problems; duality, *Nonlinear Anal.* 68: 24–34, 2008.
- [3] M. Arana e L. Salles-Neto. Sufficient condition for partial efficiency in a bicriteria nonlinear cutting stock problem, *RAIRO-Operations Research*. 51: 709–717, 2016.
- [4] K. DEB. *Multi-Objective Optimization using Evolutionary Algorithms*. John Wiley and Sons, New York, 2001.
- [5] H. Slimani e M. Radjef. *Multiobjective Programming under Generalized Invexity*. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2010.