O Problema de *Flow Shop Cross-Docking* com Duas Máquinas: Formulação Indexada no Tempo e Relaxação Lagrangeana

Marcelus Fabri Lima, Renato Curi, Martín Gómez Ravetti
Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil

Palavras-chave. *Cross-docking*. Relaxação Lagrangeana. *Flow Shop*.

O trabalho aborda o problema de sequenciamento de caminhões em uma estação de *cross-docking*. Uma formulação de programação inteira indexada no tempo e um algoritmo de relaxação Lagrangeana são propostos e testados. O modelo é baseado em um problema de sequenciamento do tipo *flow shop* de dois estágios com restrições de precedência. A solução é feito por meio do software comercial CPLEX. Os resultados computacionais mostram que essa estratégia é uma proposta viável para o estudo de instâncias associadas a casos práticos ligados a indústria.

Formulação Completa

$$\min \sum_{j\in J^2}\sum_{t=0}^{T-p_{2j}} (t+p_{2j})y_{jt}$$

s.t.

$$\sum_{t=0}^{T-p_{1j}} x_{jt} = 1 \qquad \forall j \in J^1 \quad (1)$$

$$\sum_{t=0}^{T-p_{2j}} y_{jt} = 1 \qquad \forall j \in J^2 \quad (2)$$

$$\sum_{t=0}^{T-p_{2j}} t.y_{jt} - \sum_{t=0}^{T-p_{1k}} (t+p_{1k})x_{kt} \geq 0 \qquad \forall j \in J^2 \wedge \forall k \in S_j \quad (3)$$

$$\sum_{j\in J^1}\sum_{s=\max(0\,;\,t-p_{1j}+1)}^{t} x_{js} \leq 1 \qquad \forall t \in T \quad (4)$$

$$\sum_{j\in J^2}\sum_{s=\max(0\,;\,t-p_{2j}+1)}^{t} y_{js} \leq 1 \qquad \forall t \in T \quad (5)$$

$$x_{jt} \in \{0,1\} \qquad \forall j \in J^1, \forall t \in T \quad (6)$$

$$y_{jt} \in \{0,1\} \qquad \forall j \in J^2, \forall t \in T \quad (7)$$

Derivações do Subproblema Lagrangeano

Subproblema em x

$$L(\lambda)_x = \min \sum_{j\in J^2}\sum_{k\in S_j} \lambda_{jk} \sum_{t=0}^{T-p_{1k}} (t+p_{1k})x_{kt}$$

s.t.

(1), (4), (6) e (8) – Restrições que contêm x.

Subproblema em Y

$$L(\lambda)_y = \min \sum_{j\in J^2}\sum_{t=0}^{T-p_{2j}} (t+p_{2j})y_{jt} - \sum_{j\in J^2}\sum_{k\in S_j} \lambda_{jk} \sum_{t=0}^{T-p_{2j}} t.y_{jt}$$

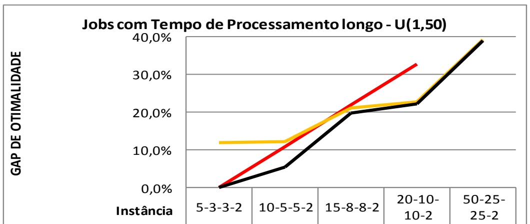
s.t.

(2), (5), (7) e (8) – Restrições que contêm y.

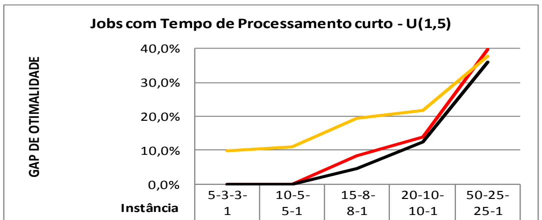
Experimento 1: Avalia os resultados da formulação original;

Experimento 2: Avalia a aplicação da Relaxação Lagrangeana associada ao algoritmo do Subgradiente para resolver o Dual Lagrangeano;

Experimento 3: A melhor solução viável do 2º experimento é utilizada como entrada para a resolução da formulação original pelo software CPLEX.



Instância	5-3-3-2	10-5-5-2	15-8-8-2	20-10-10-2	50-25-25-2
Exp. 1 CPLEX	0,0%	11,0%	22,1%	32,7%	—
Exp. 2 R.L.	11,9%	12,2%	21,3%	22,7%	39,4%
Exp 3. R.L. + CPLEX	0,0%	5,6%	19,9%	22,4%	39,0%



Instância	5-3-3-1	10-5-5-1	15-8-8-1	20-10-10-1	50-25-25-1
Exp. 1 CPLEX	0,0%	0,0%	8,4%	13,8%	39,8%
Exp. 2 R.L.	9,7%	11,0%	19,3%	21,7%	37,7%
Exp 3. R.L. + CPLEX	0,0%	0,0%	4,6%	12,4%	36,0%

Conclusões

- O tamanho do horizonte de tempo tem impacto direto na resolução do problema.
- A formulação indexada no tempo é responsável por melhorar o limite inferior do problema.
- O número de variáveis da formulação é muito grande comprometendo seu desempenho.
- A relaxação Lagrangeana obtém bons valores dos limites em tempo reduzido,
- Trabalhos futuros podem focar na melhoria desses limites por meio de procedimentos polinomiais, associando os resultados do Dual Lagrangeano com heurísticas.