

Métodos Heurísticos para Solução do *Order Batching Problem*

Robson Ricardo Costa Vieira

Departamento de Computação
Instituto de Ciências Exatas e Biológicas
Universidade Federal de Ouro Preto

26 de Novembro de 2018



- 1 Introdução
- 2 Order Batching Problem
- 3 Revisão bibliográfica
- 4 Busca Local Iterada
- 5 Experimentos
- 6 Atividades restantes

Definições

- ▶ Produtos;
- ▶ Pedidos de compra;
- ▶ Centro de distribuição;
- ▶ Coletor;
- ▶ Coleta.

Introdução

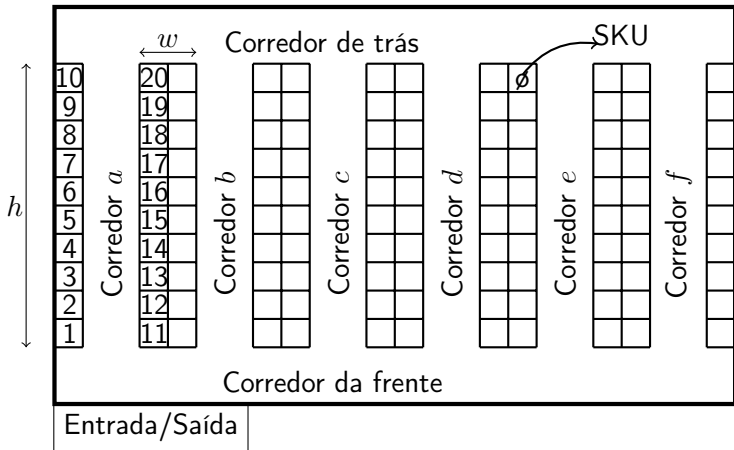


Figura: Leiaute de um centro de distribuição.

Order Batching Problem

Order Batching Problem

- ▶ Problema de particionamento de conjuntos (lotes);
- ▶ Definir uma rota para a coleta dos produtos de um lote;
- ▶ Minimizar a distância para a coleta dos lotes de produtos;
- ▶ \mathcal{NP} -difícil (GADEMANN; VELDE, 2005).

Características

- ▶ O conjunto de pedidos O é conhecido;
- ▶ A capacidade do coletor é conhecida;
- ▶ A cardinalidade de todos os pedidos é menor ou igual a capacidade do coletor;
- ▶ Política de roteamento é previamente fixada.

Política de roteamento

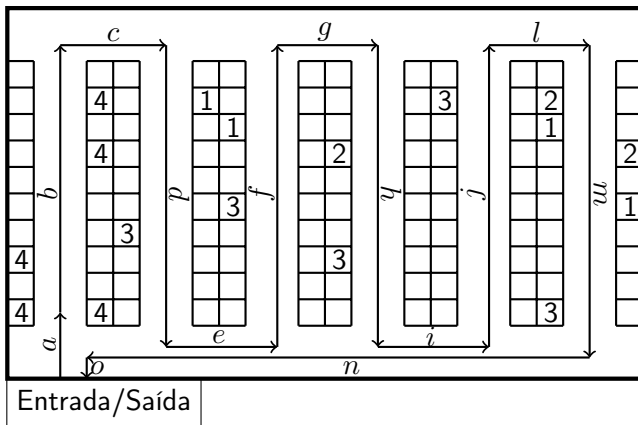


Figura: Exemplo de percurso *S-shape*.

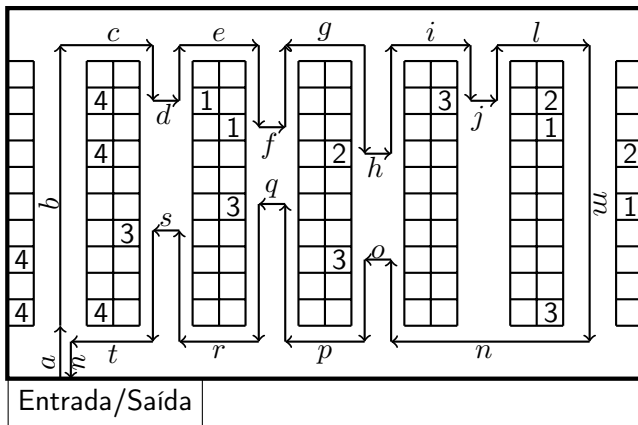


Figura: Exemplo de percurso *largest gap*.

Order Batching Problem

Pedidos de compra

Tabela: Exemplo de omposição dos pedidos de compra.

| Pedido | Quantidade | Produto | Corredor | SKU |
|--------|------------|----------|----------|-----|
| O_1 | 20 | p_1 | a | 1 |
| | 3 | p_2 | f | 8 |
| O_2 | 1 | p_3 | a | 9 |
| O_3 | 3 | p_4 | a | 10 |
| O_4 | 3 | p_5 | b | 8 |
| | 2 | p_6 | c | 2 |
| O_5 | 3 | p_7 | c | 5 |
| | 1 | p_8 | d | 2 |
| O_6 | 20 | p_9 | c | 9 |
| | 2 | p_{10} | d | 6 |
| O_7 | 4 | p_{11} | f | 5 |

Introdução

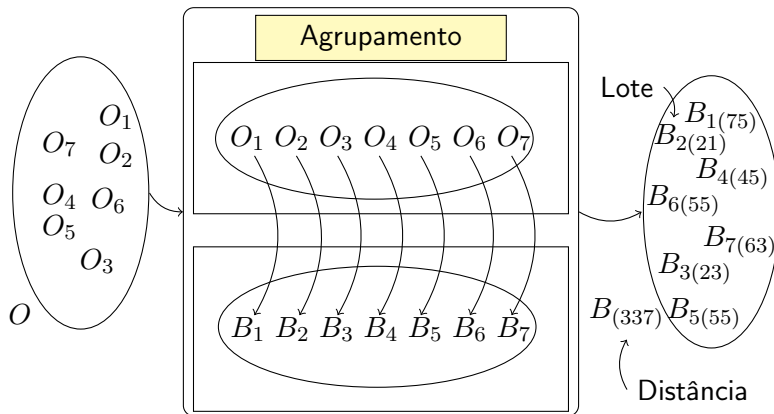


Figura: Exemplo de um possível agrupamento de pedidos em lotes.

Introdução

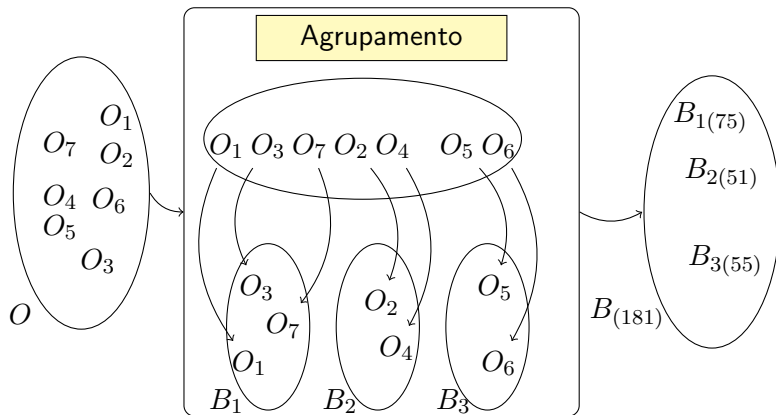


Figura: Exemplo de um possível agrupamento de pedidos em lotes, cuja solução é ótima.

Principais publicações.

- ▶ Gademann e Velde (2005);
- ▶ Henn e Wäscher (2012);
- ▶ Žulj, Kramer e Schneider (2018).

Abordagem

Para abordagem do OBP, propõe-se a implementação da metaheurística Busca Local Iterada (ou *Iterated Local Search*, ILS).

Motivações

- ▶ A ILS é uma meta-heurística que gera bons resultados em vários problemas combinatórios (LOURENÇO; MARTIN; STÜTZLE, 2003);
- ▶ Implementação simplificada.

Fundamentos

- ▶ Diversificação;
- ▶ Intensificação.

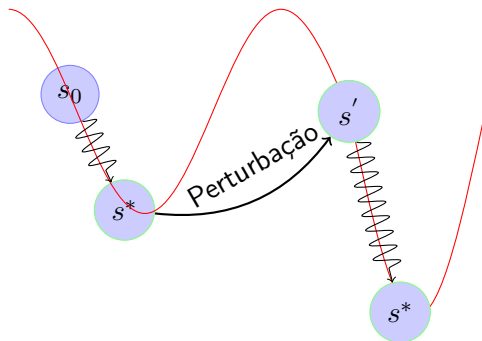
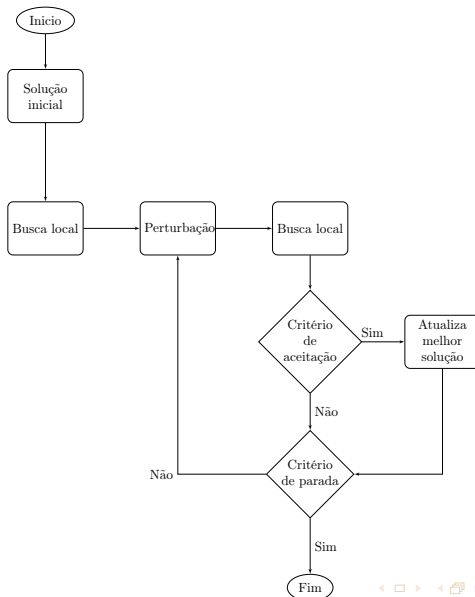
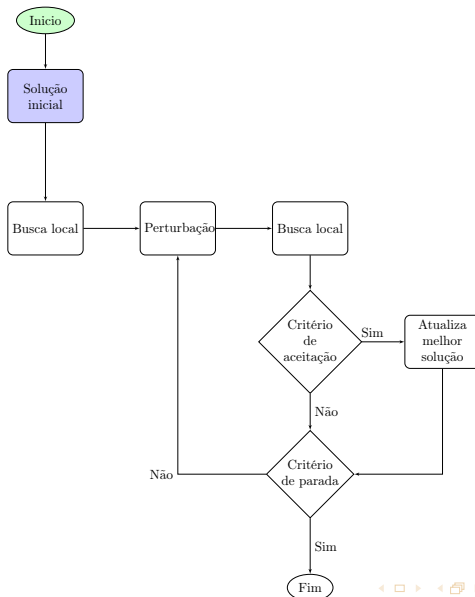


Figura: Possível efeito da perturbação e busca local.

Visão geral



Solução inicial



Heurística para geração de solução inicial

Clarke & Wright, ou C&W (CLARKE; WRIGHT, 1964).

Motivação

Algoritmos de sementes e algoritmos de economias, quando comparados com outras heurísticas, apresentam melhor desempenho para gerarem soluções iniciais (KOSTER; POORT; WOLTERS, 1999).

Solução inicial

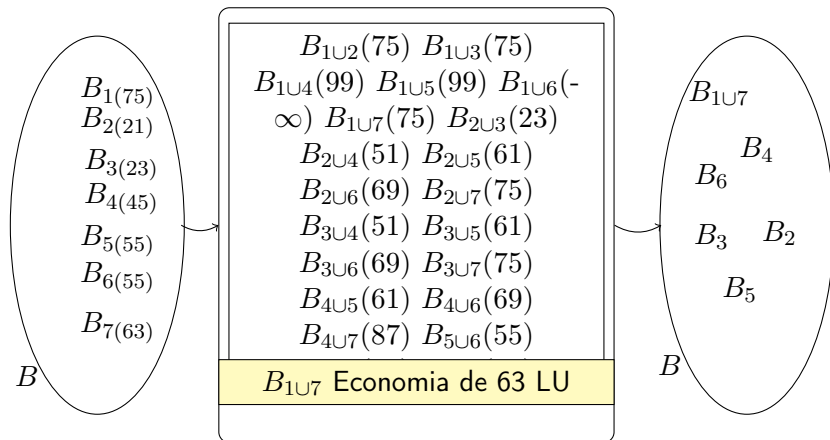
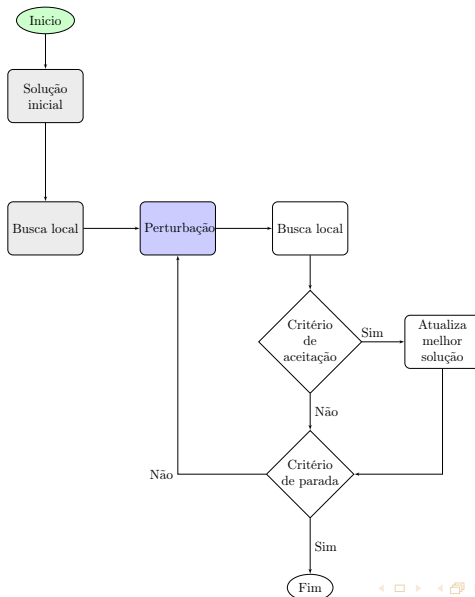


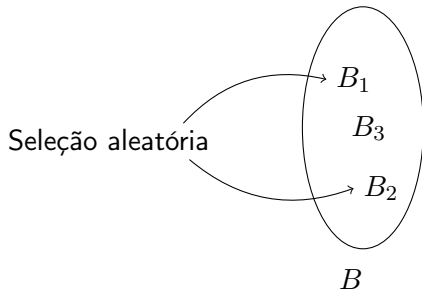
Figura: Exemplo de combinação e seleção do subconjunto que fornece maior economia.

Perturbação

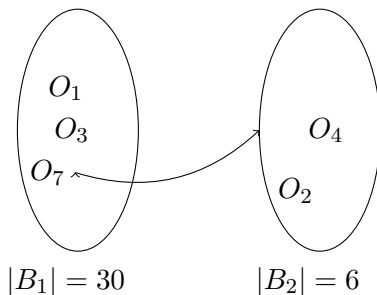


Pilar da diversificação

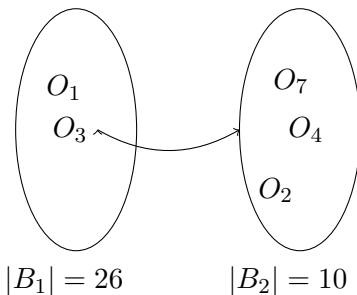
Método proposto por Henn et al. (2010).



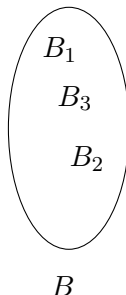
(a) Seleção de dois lotes.



(b) Primeira iteração.



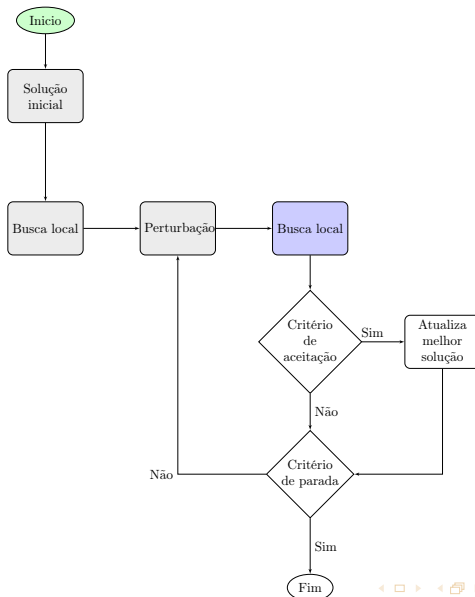
(c) Segunda iteração.



(d) Terceira iteração.

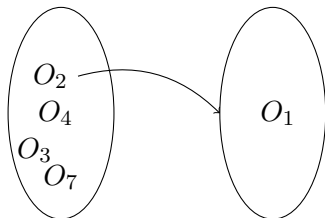
Figura: Exemplo de perturbação.

Busca local



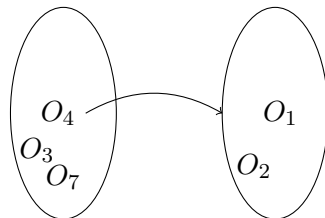
Vizinhanças

- ▶ Movimento de inserção;
- ▶ Movimento de troca.



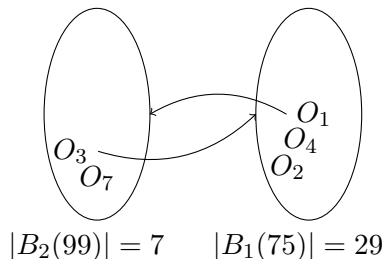
$$|B_2(99)| = 13 \quad |B_1(75)| = 23$$

(a) Primeira iteração.

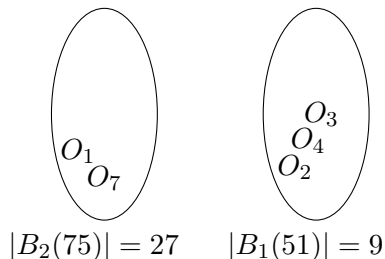


$$|B_2(99)| = 12 \quad |B_1(75)| = 24$$

(b) Segunda iteração.



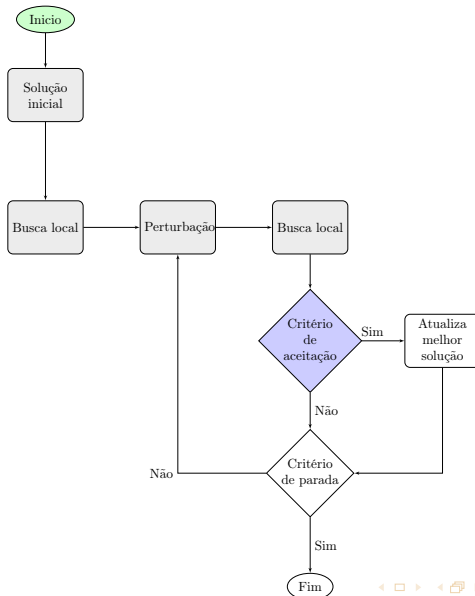
(c) Terceira iteração.



(d) Quarta iteração.

Figura: Exemplo de busca local nos lotes B_1 e B_2 .

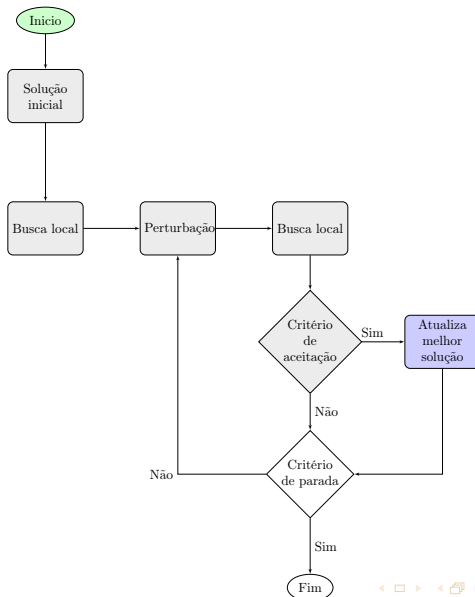
Critério de aceitação



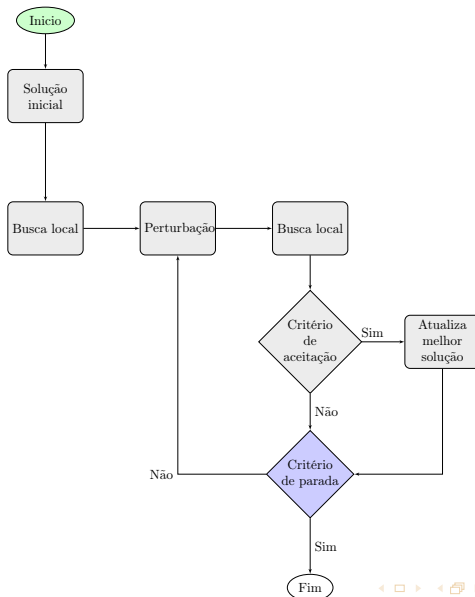
Motivação

- ▶ Equilíbrio no critério de aceitação;
- ▶ Critério de descida.

Atualiza melhor solução



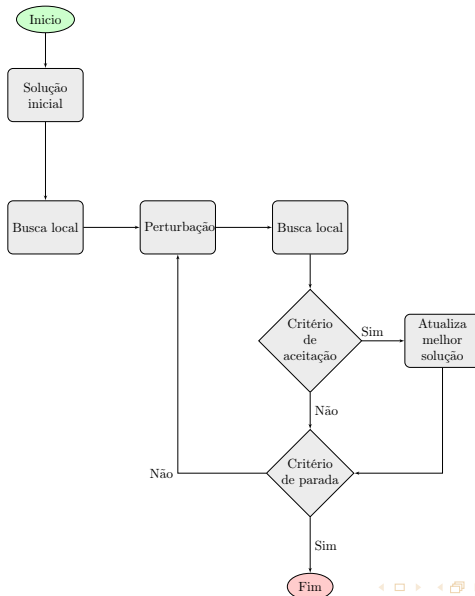
Critério de parada



Motivação

- ▶ Dificuldade de identificar se uma solução é ótima ou não;
- ▶ No intuito de minimizar o tempo de processamento; adota-se dois critérios de parada.

Finalização do ILS



Ambiente computacional

- ▶ Intel i5-3330 quadcore com frequência 3,00 GHZ;
- ▶ 8 GB de memória RAM;
- ▶ Sistema operacional Linux Ubuntu 15.10.

Implementação

- ▶ Implementação em c++ 11;
- ▶ O código foi compilado com o g++ 5.2.1, com a opção de otimização -O3.

Leiaute do centro de distribuição (HENN; WÄSCHER, 2012).

- ▶ 2 corredores horizontais;
- ▶ 10 Corredores verticais;
- ▶ 90 SKUs por corredor;
- ▶ 1 acesso de entrada/saída.

Medidas

- ▶ A altura de cada SKU é de 1 LU;
- ▶ Distância de transição de um corredor vertical ao próximo corredor contíguo (w) é 5 LU;
- ▶ Distância de acesso do corredor horizontal à um corredor vertical é de 1 LU;
- ▶ Distância para entrar ou sair do centro de distribuição e acessar o corredor horizontal da frente é de 0,5 LU.

Conjunto de instâncias

Tabela: Conjunto de instâncias CBD (HENN; WÄSCHER, 2012).

| Classe | Pedidos | Capacidade | Total |
|--------|------------------|------------------|-------|
| A | {20, 40, 50, 60} | {30, 45, 60, 75} | 640 |
| B | {20, 40, 50, 60} | {30, 45, 60, 75} | 640 |
| C | {20, 40, 50, 60} | {30, 45, 60, 75} | 640 |

Tabela: Conjunto de instâncias UDD (HENN; WÄSCHER, 2012).

| Pedidos | Capacidade | Total |
|-------------------|------------------|-------|
| {40, 60, 80, 100} | {30, 45, 60, 75} | 640 |

Comparação com os resultados da literatura

Tabela: Comparação de resultados entre ILS e ALNS/TS para as instâncias UDD.

| Pedidos | Capacidade | BKS | ALNS/TS | | ILS | |
|---------|------------|------------|------------|------|------------|-----|
| | | | Δ_f | t | Δ_f | t |
| n=40 | c=30 | 10.462,00* | 10.462,00 | 2,0 | 19.956,40 | 0,9 |
| | c=45 | 6.864,00 | 6.864,00 | 2,0 | 12.065,90 | 0,4 |
| | c=60 | 5.278,00 | 5.278,00 | 2,0 | 11.425,50 | 0,5 |
| | c=75 | 4.273,00 | 4.273,00 | 3,0 | 9.770,90 | 0,4 |
| n=60 | c=30 | 15.482,00* | 17.030,20 | 5,0 | 15.522,60 | 1,2 |
| | c=45 | 10.032,00 | 10.032,00 | 6,0 | 15.720,60 | 1,2 |
| | c=60 | 7.705,00 | 7.705,00 | 7,0 | 18.743,90 | 1,1 |
| | c=75 | 6.294,00 | 6.294,00 | 8,0 | 17.932,50 | 0,6 |
| n=80 | c=30 | 20.645,00* | 22.709,50 | 12,0 | 25.155,20 | 2,3 |
| | c=45 | 13.328,00 | 13.328,00 | 13,0 | 24.368,90 | 2,2 |
| | c=60 | 10.173,00 | 10.173,00 | 16,0 | 21.421,30 | 2,3 |
| | c=75 | 8.233,00 | 8.233,00 | 17,0 | 25.172,70 | 1,3 |
| n=100 | c=30 | 25.540,00* | 30.648,00 | 23,0 | 32.525,80 | 2,3 |
| | c=45 | 16.357,00 | 16.357,00 | 23,0 | 32.384,90 | 3,8 |
| | c=60 | 12.472,00 | 12.472,00 | 28,0 | 31.234,50 | 4,2 |
| | c=75 | 10.151,00 | 10.151,00 | 33,0 | 31.021,70 | 3,6 |

Análise estatística


- ▶ O teste de normalidade *Shapiro-Wilk Test* foi aplicado e confirmou que estes resultados poderiam ser modelados de acordo com uma distribuição normal ($W = 0,92917$, $p - value = 0,03714$);
- ▶ O método não paramétrico *Wilcoxon Signed Rank Test* indicou que existe diferença significativa entre os resultados ($V = 488$, $p - value = 1$), no qual ficou evidente que o ALNS/TS possui melhores valores médios.


Trabalhos futuros


- ▶ Pesquisar novas vizinhanças;
- ▶ Pesquisar e implementar novos métodos de perturbação, busca local;
- ▶ Pesquisar novos critérios de aceitação de novas soluções;
- ▶ Modelagem do problema utilizando a teoria dos grafos;
- ▶ Publicação de artigo;
- ▶ Conclusão do texto de dissertação.


Agradecimentos




Esta pesquisa foi financiado por Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

 CLARKE, G.; WRIGHT, J. W. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations research*, Informa, v. 12, n. 4, p. 568–581, 1964.

 GADEMANN, N.; VELDE, S. Order batching to minimize total travel time in a parallel-aisle warehouse. *IIE transactions*, Taylor & Francis, v. 37, n. 1, p. 63–75, 2005.

 HENN, S. et al. Metaheuristics for the order batching problem in manual order picking systems. *Business Research*, Springer, v. 3, n. 1, p. 82–105, 2010.

 HENN, S.; WÄSCHER, G. Tabu search heuristics for the order batching problem in manual order picking systems. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 222, n. 3, p. 484–494, 2012.

-  KOSTER, M. D.; POORT, E. S. Van der; WOLTERS, M. Efficient orderbatching methods in warehouses. *International Journal of Production Research*, Taylor & Francis, v. 37, n. 7, p. 1479–1504, 1999.
-  LOURENÇO, H. R.; MARTIN, O. C.; STÜTZLE, T. Iterated local search. In: *Handbook of metaheuristics*. [S.l.]: Springer, 2003. p. 320–353.
-  ŽULJ, I.; KRAMER, S.; SCHNEIDER, M. A hybrid of adaptive large neighborhood search and tabu search for the order-batching problem. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 264, n. 2, p. 653–664, 2018.

Métodos Heurísticos para Solução do *Order Batching Problem*

Robson Ricardo Costa Vieira

Departamento de Computação
Instituto de Ciências Exatas e Biológicas
Universidade Federal de Ouro Preto

26 de Novembro de 2018

