

Clustering Search - CS*



UFES

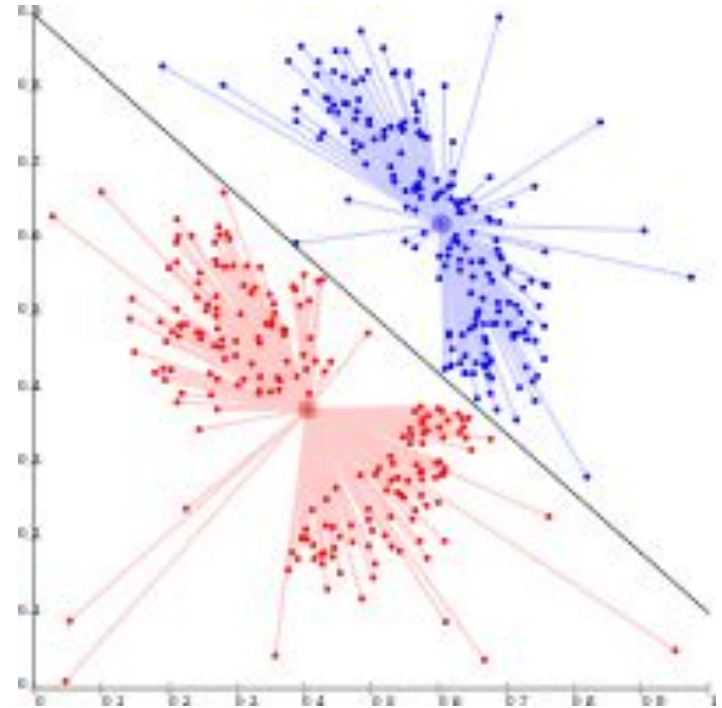
Marcos A. Spalenza

Doutorando em Ciência da Computação
Laboratório de Computação de Alto Desempenho - LCAD
Programa de Pós-Graduação em Informática - PPGI

Introdução

Clustering Search é uma meta-heurística de minimização por *Local Search* nas principais de soluções da vizinhança, resultantes da análise da densidade em clusters da população.

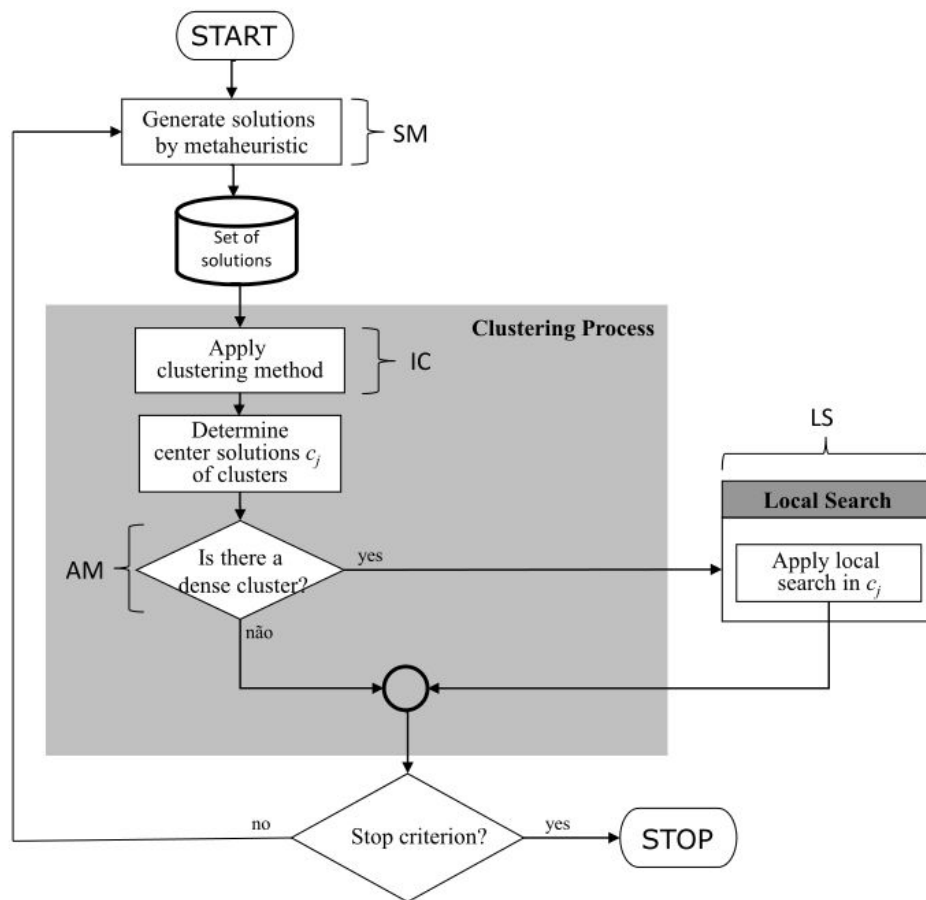
A minimização desse método atenta-se na tentativa agressiva de melhoria dos principais itens de vizinhança através da LS.



Introdução

É composta por 4 partes:

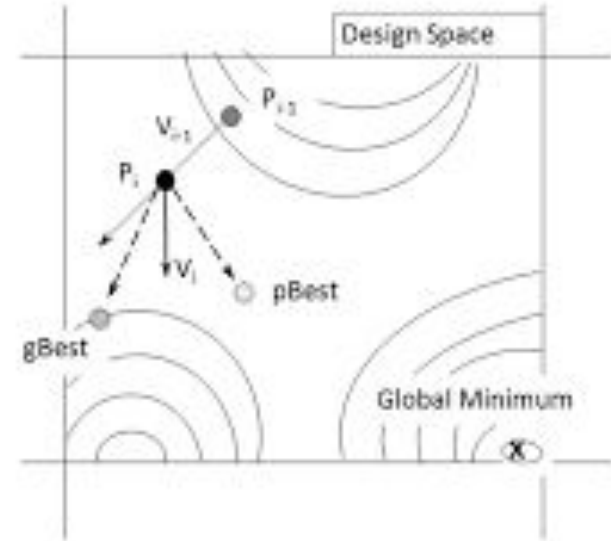
- Meta-heurística de Busca - SM
- Componente de Clusterização Iterativa - IC
- Módulo de Análise - AM
- Busca Local - LS



2-Opt

A clusterização é testada no final dos ciclos do Discrete Particle Swarm Optimization - DPSO.

- Tentativa de forçar melhorias na população gerada pelo PSO
- Seleção de itens por clustering



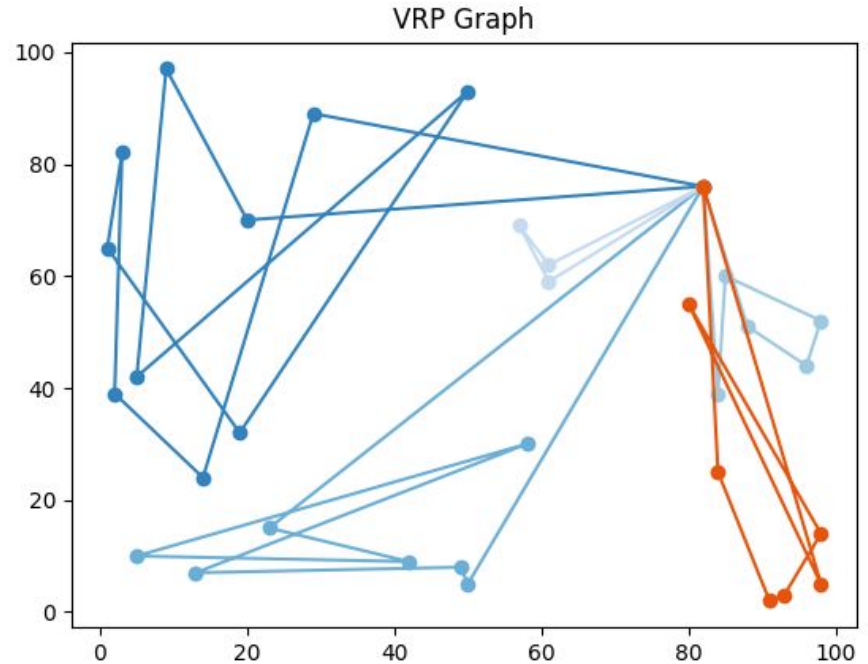
EXEMPLO DE SOLUÇÃO

[0, 27, 29, 28, 7, 32, 39, 31, 0, 41, 8, 20, 44, 35, 14, 9, 23, 0, 33, 21, 37, 24, 6, 1, 0, 15, 36, 2, 38, 34, 11, 18, 26, 0, 19, 30, 40, 17, 13, 22, 12, 0, 25, 42, 4, 16, 10, 3, 5, 43, 0]

Capacitated VRP

Vehicle Routing Problem (VRP)

- Verificação de capacidade “ c ”
- Melhor rota para “ v ” carros
- Soma das distâncias percorrida pelos carros para as cidades a ele designadas.

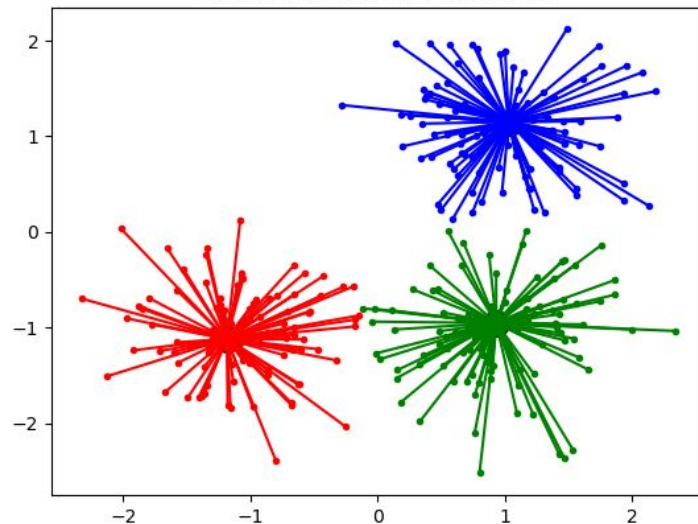


Teste de População

Ambiente de testes do Google Colab
colab.research.google.com

Python 3.6, NumPy, SciPy, Sklearn e Matplotlib.

- DPSO
- Agglomerative Clustering
- Número adaptável de clusters (bias)
- Busca em 2-OPT
- Ajuste da busca por Nearest Neighbors
- Seleção por distribuição



K - Testes

- Cinco testes repetidos no mesmo ambiente

AUGERAT, Philippe et al. Separating Capacity Constraints in the CVRP Using Tabu Search. **European Journal of Operational Research**, v. 106, n. 2-3, p. 546-557, 1998.

FISHER, Marshall L. Optimal solution of vehicle routing problems using minimum k-trees. **Operations research**, v. 42, n. 4, p. 626-642, 1994.

| Teste 1 | DPSO | CS* | Organização | Teste 1 | DPSO | CS* | Organização |
|--------------|---------|---------|-------------|---------------|---------|---------|-------------|
| A-n32-k5.vrp | 869,08 | 869,08 | 891,36 | A-n48-k7.vrp | 1308,67 | 1308,67 | 1303,24 |
| A-n33-k5.vrp | 712,28 | 712,28 | 762,46 | A-n53-k7.vrp | 1396,24 | 1358,73 | 1358,46 |
| A-n33-k6.vrp | 790,36 | 790,36 | 790,81 | A-n54-k7.vrp | 1534,81 | 1534,81 | 1641,73 |
| A-n34-k5.vrp | 831,03 | 827,70 | 847,03 | A-n55-k9.vrp | 1430,53 | 1425,89 | 1360,68 |
| A-n36-k5.vrp | 847,54 | 847,54 | 880,15 | A-n60-k9.vrp | 1722,60 | 1722,60 | 1733,79 |
| A-n37-k5.vrp | 778,91 | 773,45 | 849,02 | A-n61-k9.vrp | 2649,12 | 2278,42 | 1980,81 |
| A-n37-k6.vrp | 1089,85 | 1089,85 | 1118,35 | A-n62-k8.vrp | 1823,96 | 1823,96 | 1788,65 |
| A-n38-k5.vrp | 888,22 | 888,22 | 897,39 | A-n63-k9.vrp | 2460,76 | 2455,27 | 2297,33 |
| A-n39-k5.vrp | 940,33 | 940,33 | 981,80 | A-n63-k10.vrp | 1816,79 | 1816,79 | 1866,48 |
| A-n39-k6.vrp | 960,78 | 960,78 | 981,61 | A-n64-k9.vrp | 1872,62 | 1837,06 | 1806,38 |
| A-n44-k7.vrp | 1148,23 | 1137,44 | 1140,61 | A-n65-k9.vrp | 2094,99 | 2094,99 | 2016,05 |
| A-n45-k6.vrp | 2342,06 | 2057,10 | 1872,71 | A-n69-k9.vrp | 1894,41 | 1893,43 | 1865,17 |
| A-n45-k7.vrp | 1287,30 | 1287,30 | 1323,99 | A-n80-k10.vrp | 2694,81 | 2694,81 | 2607,61 |
| A-n46-k7.vrp | 1127,61 | 1127,61 | 1126,40 | | | | |

AUGERAT, Philippe et al. Separating Capacity Constraints in the CVRP Using Tabu Search. **European Journal of Operational Research**, v. 106, n. 2-3, p. 546-557, 1998.

FISHER, Marshall L. Optimal solution of vehicle routing problems using minimum k-trees. **Operations research**, v. 42, n. 4, p. 626-642, 1994.

| Teste 2 | DPSO | CS* | Organização | Teste 2 | DPSO | CS* | Organização |
|--------------|---------|---------|-------------|---------------|---------|---------|-------------|
| A-n32-k5.vrp | 849,53 | 849,53 | 884,97 | A-n48-k7.vrp | 1272,99 | 1272,99 | 1309,65 |
| A-n33-k5.vrp | 722,02 | 722,02 | 745,86 | A-n53-k7.vrp | 1405,28 | 1405,28 | 1406,47 |
| A-n33-k6.vrp | 791,00 | 791,00 | 846,64 | A-n54-k7.vrp | 1482,51 | 1482,51 | 1456,74 |
| A-n34-k5.vrp | 856,46 | 856,46 | 887,33 | A-n55-k9.vrp | 1381,88 | 1381,88 | 1372,38 |
| A-n36-k5.vrp | 904,20 | 904,20 | 910,32 | A-n60-k9.vrp | 1774,39 | 1774,39 | 1718,85 |
| A-n37-k5.vrp | 787,11 | 787,11 | 844,44 | A-n61-k9.vrp | 2722,41 | 2293,23 | 1927,57 |
| A-n37-k6.vrp | 1066,35 | 1066,35 | 1093,34 | A-n62-k8.vrp | 1779,30 | 1779,30 | 1745,16 |
| A-n38-k5.vrp | 874,87 | 874,87 | 891,71 | A-n63-k9.vrp | 2427,81 | 2427,81 | 2379,60 |
| A-n39-k5.vrp | 972,34 | 972,34 | 996,85 | A-n63-k10.vrp | 1809,07 | 1809,07 | 1892,40 |
| A-n39-k6.vrp | 977,35 | 977,35 | 988,27 | A-n64-k9.vrp | 1937,55 | 1936,54 | 2040,39 |
| A-n44-k7.vrp | 1149,17 | 1149,17 | 1160,62 | A-n65-k9.vrp | 2190,08 | 2161,46 | 2087,58 |
| A-n45-k6.vrp | 1591,09 | 1591,09 | 1540,34 | A-n69-k9.vrp | 1837,57 | 1816,56 | 1813,46 |
| A-n45-k7.vrp | 1284,63 | 1280,77 | 1297,56 | A-n80-k10.vrp | 2554,91 | 2554,91 | 2569,87 |
| A-n46-k7.vrp | 1081,70 | 1081,70 | 1079,86 | | | | |

AUGERAT, Philippe et al. Separating Capacity Constraints in the CVRP Using Tabu Search. **European Journal of Operational Research**, v. 106, n. 2-3, p. 546-557, 1998.

FISHER, Marshall L. Optimal solution of vehicle routing problems using minimum k-trees. **Operations research**, v. 42, n. 4, p. 626-642, 1994.

| Teste 3 | DPSO | CS* | Organização | Teste 3 | DPSO | CS* | Organização |
|--------------|---------|---------|-------------|---------------|---------|---------|-------------|
| A-n32-k5.vrp | 854,34 | 854,34 | 884,24 | A-n48-k7.vrp | 1263,64 | 1258,71 | 1310,77 |
| A-n33-k5.vrp | 707,88 | 707,88 | 703,68 | A-n53-k7.vrp | 1365,71 | 1365,71 | 1481,41 |
| A-n33-k6.vrp | 794,59 | 794,59 | 791,95 | A-n54-k7.vrp | 1560,05 | 1560,05 | 1629,26 |
| A-n34-k5.vrp | 845,40 | 845,40 | 893,65 | A-n55-k9.vrp | 1511,73 | 1506,56 | 1563,04 |
| A-n36-k5.vrp | 884,75 | 884,75 | 932,70 | A-n60-k9.vrp | 1769,39 | 1769,39 | 1807,54 |
| A-n37-k5.vrp | 770,40 | 770,40 | 833,59 | A-n61-k9.vrp | 2702,91 | 2170,87 | 2033,64 |
| A-n37-k6.vrp | 1078,50 | 1078,50 | 1156,15 | A-n62-k8.vrp | 1787,94 | 1760,69 | 1726,32 |
| A-n38-k5.vrp | 853,59 | 853,59 | 874,37 | A-n63-k9.vrp | 2298,78 | 2186,79 | 2158,65 |
| A-n39-k5.vrp | 987,01 | 987,01 | 983,02 | A-n63-k10.vrp | 1830,82 | 1806,30 | 1790,97 |
| A-n39-k6.vrp | 961,94 | 961,94 | 1014,23 | A-n64-k9.vrp | 1914,04 | 1914,04 | 1931,46 |
| A-n44-k7.vrp | 1114,01 | 1114,01 | 1172,30 | A-n65-k9.vrp | 2278,85 | 2276,99 | 2072,62 |
| A-n45-k6.vrp | 1595,19 | 1595,19 | 1608,71 | A-n69-k9.vrp | 1874,61 | 1874,61 | 1805,15 |
| A-n45-k7.vrp | 1303,78 | 1294,57 | 1358,33 | A-n80-k10.vrp | 2668,50 | 2665,65 | 2618,01 |
| A-n46-k7.vrp | 1086,37 | 1086,37 | 1086,67 | | | | |

AUGERAT, Philippe et al. Separating Capacity Constraints in the CVRP Using Tabu Search. **European Journal of Operational Research**, v. 106, n. 2-3, p. 546-557, 1998.

FISHER, Marshall L. Optimal solution of vehicle routing problems using minimum k-trees. **Operations research**, v. 42, n. 4, p. 626-642, 1994.

| Teste 4 | DPSO | CS* | Organização | Teste 4 | DPSO | CS* | Organização |
|--------------|---------|---------|-------------|---------------|---------|---------|-------------|
| A-n32-k5.vrp | 861,65 | 860,32 | 924,28 | A-n48-k7.vrp | 1304,69 | 1267,42 | 1322,97 |
| A-n33-k5.vrp | 699,37 | 699,37 | 712,19 | A-n53-k7.vrp | 1426,25 | 1426,25 | 1376,96 |
| A-n33-k6.vrp | 819,78 | 819,78 | 824,45 | A-n54-k7.vrp | 1537,94 | 1537,94 | 1560,61 |
| A-n34-k5.vrp | 832,11 | 832,11 | 827,22 | A-n55-k9.vrp | 1417,65 | 1417,65 | 1461,98 |
| A-n36-k5.vrp | 899,43 | 899,43 | 920,83 | A-n60-k9.vrp | 1717,00 | 1717,00 | 1731,34 |
| A-n37-k5.vrp | 731,57 | 731,57 | 807,78 | A-n61-k9.vrp | 2729,72 | 2254,20 | 1979,52 |
| A-n37-k6.vrp | 1088,64 | 1088,64 | 1142,75 | A-n62-k8.vrp | 1809,37 | 1809,37 | 1735,02 |
| A-n38-k5.vrp | 885,23 | 885,23 | 974,92 | A-n63-k9.vrp | 2589,07 | 2589,07 | 2366,40 |
| A-n39-k5.vrp | 961,51 | 961,51 | 1005,24 | A-n63-k10.vrp | 1810,93 | 1810,93 | 1782,62 |
| A-n39-k6.vrp | 962,61 | 962,61 | 1075,35 | A-n64-k9.vrp | 1922,06 | 1922,06 | 1905,43 |
| A-n44-k7.vrp | 1167,44 | 1167,44 | 1229,64 | A-n65-k9.vrp | 2656,60 | 2567,74 | 2285,43 |
| A-n45-k6.vrp | 1684,91 | 1684,91 | 1595,90 | A-n69-k9.vrp | 1911,18 | 1911,18 | 1848,47 |
| A-n45-k7.vrp | 1303,46 | 1303,46 | 1396,86 | A-n80-k10.vrp | 2744,16 | 2698,15 | 2682,78 |
| A-n46-k7.vrp | 1108,66 | 1108,66 | 1125,82 | | | | |

38 melhorias com
uso do CS*

53 melhorias com o
vizinho mais próximo

| Teste 5 | DPSO | CS* | Organização | Teste 5 | DPSO | CS* | Organização |
|--------------|---------|---------|-------------|---------------|---------|---------|-------------|
| A-n32-k5.vrp | 843,05 | 843,05 | 876,44 | A-n48-k7.vrp | 1287,79 | 1287,79 | 1293,40 |
| A-n33-k5.vrp | 697,65 | 697,65 | 706,89 | A-n53-k7.vrp | 1369,22 | 1369,22 | 1467,88 |
| A-n33-k6.vrp | 800,04 | 800,04 | 807,07 | A-n54-k7.vrp | 1576,63 | 1576,63 | 1446,50 |
| A-n34-k5.vrp | 847,30 | 847,30 | 863,78 | A-n55-k9.vrp | 1459,34 | 1459,34 | 1436,91 |
| A-n36-k5.vrp | 908,72 | 908,72 | 938,71 | A-n60-k9.vrp | 1721,95 | 1705,12 | 1758,66 |
| A-n37-k5.vrp | 776,26 | 776,26 | 814,40 | A-n61-k9.vrp | 2697,02 | 2317,36 | 2130,16 |
| A-n37-k6.vrp | 1087,21 | 1087,21 | 1129,47 | A-n62-k8.vrp | 1734,53 | 1734,53 | 1780,55 |
| A-n38-k5.vrp | 884,83 | 884,83 | 917,12 | A-n63-k9.vrp | 2314,80 | 2314,80 | 2268,91 |
| A-n39-k5.vrp | 971,66 | 971,66 | 1034,63 | A-n63-k10.vrp | 1823,99 | 1787,82 | 1768,14 |
| A-n39-k6.vrp | 966,85 | 962,02 | 1025,73 | A-n64-k9.vrp | 1952,38 | 1916,08 | 1856,38 |
| A-n44-k7.vrp | 1157,82 | 1149,78 | 1236,96 | A-n65-k9.vrp | 2329,00 | 2247,33 | 2136,10 |
| A-n45-k6.vrp | 2342,78 | 1988,12 | 1835,13 | A-n69-k9.vrp | 1842,57 | 1841,23 | 1705,73 |
| A-n45-k7.vrp | 1308,89 | 1308,89 | 1282,81 | A-n80-k10.vrp | 2717,56 | 2596,78 | 2523,17 |
| A-n46-k7.vrp | 1073,28 | 1073,28 | 1106,20 | | | | |

AUGERAT, Philippe et al. Separating Capacity Constraints in the CVRP Using Tabu Search. **European Journal of Operational Research**, v. 106, n. 2-3, p. 546-557, 1998.

FISHER, Marshall L. Optimal solution of vehicle routing problems using minimum k-trees. **Operations research**, v. 42, n. 4, p. 626-642, 1994.

Comparativo com Literatura

| Problem | BEST | Proposed Adaptive Sweep + VTPSO | DPSO | DPSO+CS* | +/- |
|----------|-------|---------------------------------|---------|---------------|----------------|
| A-n32-k5 | 784.0 | 882 | 819,47 | 843,05 | -38,951954153 |
| A-n33-k5 | 661.0 | 698 | 682,31 | 697,65 | -0,347857618 |
| A-n33-k6 | 742.0 | 751 | 758,26 | 790,36 | 39,3566241969 |
| A-n34-k5 | 778.0 | 785 | 819,16 | 827,22 | 42,2241708295 |
| A-n36-k5 | 799.0 | 881 | 845,93 | 847,54 | -33,4604197149 |
| A-n37-k5 | 669.0 | 754 | 748,40 | 731,57 | -22,4253131817 |
| A-n37-k6 | 949.0 | 1112 | 1032,16 | 1066,35 | -45,645125703 |
| A-n38-k5 | 730.0 | 813 | 822,78 | 853,59 | 40,5920121271 |
| A-n39-k5 | 822.0 | 877 | 916,24 | 940,33 | 63,3260922841 |
| A-n39-k6 | 831.0 | 972 | 888,42 | 960,78 | -11,2173367827 |
| A-n44-k6 | 937.0 | 1056 | 1048,23 | 1114,01 | 58,0112581862 |

AKHAND, M. A. H.; PEYA, Zahrul Jannat; MURASE, Kazuyuki. Capacitated Vehicle Routing Problem Solving using Adaptive Sweep and Velocity Tentative PSO. **International Journal of Advanced Computer Science and Applications**, v. 8, n. 12, p. 288-295, 2017.

| | | | | | |
|-----------|--------|------|---------|---------|----------------|
| A-n45-k6 | 944.0 | 1073 | 1452,87 | 1540,34 | 467,3428720951 |
| A-n45-k7 | 1146.0 | 1305 | 1228,27 | 1280,77 | -24,2322610439 |
| A-n46-k7 | 914.0 | 975 | 1019,73 | 1073,28 | 98,278521263 |
| A-n48-k7 | 1073.0 | 1152 | 1188,39 | 1258,71 | 106,7063199245 |
| A-n53-k7 | 1010.0 | 1090 | 1225,76 | 1358,46 | 268,4599371801 |
| A-n54-k7 | 1167.0 | 1361 | 1358,58 | 1446,50 | 85,5021725111 |
| A-n55-k9 | 1073.0 | 1190 | 1263,18 | 1360,68 | 170,6752254093 |
| A-n60-k9 | 1408.0 | 1503 | 1593,19 | 1705,12 | 202,1203721308 |
| A-n61-k9 | 1035.0 | 1164 | 2622,14 | 1927,57 | 763,5705351634 |
| A-n62-k8 | 1290.0 | 1408 | 1534,74 | 1726,32 | 318,3198944943 |
| A-n63-k9 | 1634.0 | 1823 | 2053,78 | 2158,65 | 335,6508274777 |
| A-n63-k10 | 1315.0 | 1477 | 1579,07 | 1768,14 | 291,1416979852 |
| A-n64-k9 | 1402.0 | 1598 | 1680,59 | 1806,38 | 208,3834959412 |
| A-n65-k9 | 1177.0 | 1317 | 1855,22 | 2016,05 | 699,0466733627 |
| A-n69-k9 | 1168.0 | 1259 | 1474,50 | 1705,73 | 446,732327996 |
| A-n80-k10 | 1764.0 | 2136 | 2276,81 | 2523,17 | 387,1690713037 |

OTIMIZAÇÃO COMBINATÓRIA E META-HEURÍSTICAS



UFES

Marcos A. Spalenza

Doutorando em Ciência da Computação
Laboratório de Computação de Alto Desempenho - LCAD
Programa de Pós-Graduação em Informática - PPGI