



DISCRETIZAÇÃO E PARAMETRIZAÇÃO DO ALGORITMO DE OTIMIZAÇÃO POR ENXAME DE PARTÍCULAS

RUI JORGE VALENTE ALVES SILVA

Setembro de 2021

DISCRETIZAÇÃO E PARAMETRIZAÇÃO DO ALGORITMO DE OTIMIZAÇÃO POR ENXAME DE PARTÍCULAS

Rui Jorge Valente Alves Silva

2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isen

P.PORTO

DISCRETIZAÇÃO E PARAMETRIZAÇÃO DO ALGORITMO DE OTIMIZAÇÃO POR ENXAME DE PARTÍCULAS

Rui Jorge Valente Alves Silva

Estudante n.º 1180146

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação do Doutor André Borges Guimarães Serra e Santos e coorientação do Engenheiro Eduardo Jorge Casal Cardoso Martins.

2021

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isen

P.PORTO

AGRADECIMENTOS

Na realização do presente trabalho, contei com o apoio direto ou indireto de múltiplas pessoas e instituições às quais estou profundamente grato. Correndo o risco de injustamente não mencionar algum dos contributos quero deixar expresso os meus agradecimentos:

Ao meu orientador do Doutor André Borges Guimarães Serra e Santos e coorientador Engenheiro Eduardo Jorge Casal Cardoso Martins, pela orientação prestada, pelo seu incentivo, disponibilidade e apoio que sempre demonstram. Aqui lhes exprimo a minha gratidão.

A todo o corpo docente, da Mestrado de Engenharia e Gestão Industrial da Instituto Superior de Engenharia do Porto do Politécnico do Porto, que me investiram com o conhecimento técnico que permitiu a realização deste projeto.

A todos os amigos e colegas que de uma forma direta ou indireta, contribuíram, ou auxiliaram na elaboração do presente estudo, pela paciência, atenção e força que prestaram em momentos menos fáceis, com uma especial atenção ao meu caro colega José Sequeiros.

Não poderia deixar de agradecer à minha família por todo o apoio, força e pelo carinho que sempre me prestaram ao longo de toda a minha vida académica.

À minha esposa, Leonor Rodrigues, por ter caminhado ao meu lado, pela sua paciência, compreensão e ajuda prestada durante todo o percurso académico, especialmente por apresentar sempre um sorriso, quando sacrificava os dias, as noites, os fins-de-semana e os feriados em prol da realização do sucesso do meu percurso.

Enfim, quero demonstrar o meu agradecimento, a todos aqueles que, de um modo ou de outro, tornaram possível a realização deste trabalho.

A todos o meu sincero e profundo Obrigado!

página propositadamente em branco

RESUMO

Da panóplia de meta-heurísticas disponíveis verifica-se uma tendência de utilizar um pequeno número de meta-heurísticas para resolver problemas de características semelhantes. Nos últimos anos tem-se verificado a continuada investigação das meta-heurísticas na resolução dos problemas onde demonstram ser mais promissoras, permitindo cada vez melhores prestações, mas, apenas, nesses problemas específicos. Quando os problemas mais complexos são semelhantes, as meta-heurísticas especializadas são as mais adequadas, porém, perante problemas mais diversificados torna-se necessário o recurso a múltiplas meta-heurísticas. Isto devido à escassez de métodos estocásticos capazes de resolver, pelos menos satisfatoriamente, problemas diversificados.

Neste trabalho, pretende-se atribuir versatilidade a uma ferramenta originalmente criada para resolver problemas contínuos, a Otimização por Enxame de Partículas, ao desenvolver uma versão que consiga resolver, satisfatoriamente, problemas de otimização discretos. A Otimização por Enxame de Partículas sendo o algoritmo simples, consegue resolver efetivamente uma ampla gama de problemas, mas quando aplicado a problemas de otimização discreta, como o Problema do Caixeiro Viajante, necessita de ser adaptado para a correta interpretação e resolução do problema.

Nesse sentido, foi desenvolvida a codificação adequada para a interpretação do problema discreto, a representação discreta dos resultados bem como alterações ao procedimento da meta-heurística para o devido tratamento e processamento dos dados discretos, dando origem à Otimização por Enxame de Partículas Discretas.

Para a parametrização do algoritmo foi elaborado um plano de experiências com recurso à rotina de planeamento, execução, verificação e reação de cada experiência. Ao utilizar os resultados quantitativos das experiências foi possível descrever quais as variáveis de teste que mais afetam a resposta, obter informações sobre as inter-relações entre essas mesmas variáveis ao descrever o seu efeito combinado.

Embora exista espaço para melhorias, o potencial do algoritmo aqui desenvolvido torna-se evidente ao longo do trabalho. A Otimização por Enxame de Partículas Discretas foi analisado em quatro instâncias do Problema do Caixeiro Viajante, tendo obtido resultados não muito distantes dos resultados ótimos em uma das instâncias. Assim, a meta-heurística proposta evidencia que, com as devidas alterações, a Otimização por Enxame de Partículas pode obter tão bons resultados na resolução de problemas discretos, como na resolução de problemas contínuos.

PALAVRAS-CHAVE

Otimização por Enxame de Partículas Discretas; Algoritmo; Discretização; Meta-heurísticas; Problema do Caixeiro Viajante; Planeamento de Experiências

página propositadamente em branco

ABSTRACT

From the set of meta-heuristics available, there is a tendency to use a reduced number of meta-heuristics to solve problems with similar properties. In recent years, the study of meta-heuristics has continued for problems where they demonstrated to the best fit, which allowed to improve their performance, but only of that specific problem. When the most complex problems are similar, specialized meta-heuristics are best, however, to approach a multitude of problems, it is necessary to resort to multiple meta-heuristics. This is because there are few stochastic methods capable of solving diversified problems at least satisfactorily.

In this work, we intend to make Particle Swarm Optimization, which was designed for continuous problems, more versatile by developing a version that can satisfactorily solve discrete optimization problems. Particle Swarm Optimization is a simple algorithm that can effectively solve a wide range of problems. But when applied to discrete optimization problems like the Traveling Salesman Problem, it needs to be adapted for proper interpretation of the problem.

In this sense, a suitable coding for the interpretation of the discrete problem was developed, the discrete representation of the results and modifications to the meta-heuristic procedure for the proper treatment and processing of discrete data, resulting in the development of the Discrete Particle Swarm Optimization.

An experiment plan was devised for the parameterization of the algorithm, using the Plan, Do, Check and Act routine for each experiment. Based on the quantitative results of the experiments, it was possible to describe which test variables had the greatest impact on the response. This gave us information about the relationships between these same variables when we described their combined effect.

Although there is room for improvement, the potential of the algorithm developed here becomes clear as the work progresses. The Discrete Particle Swarm Optimization was analysed in four instances of the traveling salesman problem, attaining results very close to the optimal solution in one of the instances. And once the limitations observed here are overcome, the proposed meta-heuristic shows that, with the necessary modifications, Particle Swarm Optimization can perform as well in solving discrete problems as it does in solving continuous problems.

KEYWORDS

Discrete Particle Swarm Optimization; Algorithm; Discretization; Meta-heuristics; Traveling Salesman Problem: Design of Experiments

página propositadamente em branco

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABELAS	XI
LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS.....	XIII
1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Enquadramento e pertinência	15
1.2. Questão e objetivos de investigação.....	16
1.3. Opções metodológicas	17
1.4. Estrutura do trabalho	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1. Meta-heurísticas.....	18
2.1.1. Otimização por Enxame de Partículas.....	18
2.1.2. Otimização por Enxame de Partículas Discretas.....	19
2.2. Problemas de Otimização.....	20
2.2.1. Problema do Caixeiro Viajante.....	20
2.3. Planeamento de Experiências	20
3. MÉTODOS E APLICAÇÃO	23
3.1. Algoritmo.....	23
3.1.1. Pseudocódigo PSO	23
3.1.2. Função objetivo do Problema	24
3.1.3. Cálculo do vetor de velocidade	25
3.1.4. Obtenção da nova posição de cada partícula	26
3.1.5. Critérios de Interrupção	27
3.1.6. Discretização da codificação do Problema	27
3.1.7. Discretização do cálculo do vetor de velocidade.....	30
3.1.8. Discretização da equação de atualização da posição da partícula	32
3.1.9. Critérios de Paragem do DPSO.....	33
3.1.10. Pseudocódigo	33
3.2. Implementação	34
3.2.1. Codificação.....	34
3.2.2. Programação	36
3.3. Planeamento de Experiências	38
3.3.1. Objetivo.....	38
3.3.2. Parâmetros, Outras Variáveis e Fatores de Ruído	38
3.3.3. Problemas e Soluções	39
3.3.4. Plano Fatorial	39
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4.1. Apresentação de Resultados da Primeira Experiência.....	43

4.1.1. Análise dos Dados da Primeira Experiência	45
4.1.2. Revisão da Primeira Experiência	47
4.2. Plano Fatorial Completo (Segunda Experiência)	47
4.2.1. Análise dos Dados da Segunda Experiência	49
4.2.2. Revisão da Segunda Experiência	50
4.3. Plano Fatorial Completo com Novos Níveis (Terceira Experiência)	51
4.3.1. Análise dos Dados da Terceira Experiência	53
4.3.2. Revisão da Terceira Experiência	55
4.4. Plano com Recurso a Matriz Ortogonal Taguchi	55
4.4.1. Primeira Matriz Ortogonal Taguchi L18 (Quarta Experiência)	57
4.4.2. 2ª, 3ª, 4ª e 5ª Matriz Ortogonal Taguchi L18	59
4.5. Revisão e Discussão do DOE	67
5. CONCLUSÃO	71
5.1. Conclusões finais	71
5.2. Limitações e investigação futura	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
APÊNDICE A	79
APÊNDICE B	80
APÊNDICE C	81
APÊNDICE D	82
APÊNDICE E	83
APÊNDICE F	84
APÊNDICE G	85
APÊNDICE H	86
APÊNDICE I	87
APÊNDICE J	88
APÊNDICE K	89
APÊNDICE L	90
APÊNDICE M	91
APÊNDICE N	93
APÊNDICE O	94
APÊNDICE P	95
APÊNDICE Q	96
APÊNDICE R	97

APÊNDICE S.....	98
APÊNDICE T	99
APÊNDICE U.....	100
APÊNDICE V	101
APÊNDICE W.....	102
APÊNDICE X	103
APÊNDICE Y	104
ANEXO A.....	105
ANEXO B	106
ANEXO C	107

página propositadamente em branco

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Representação Euclidiana do PSO (Kennedy & Eberhart, 1995).....	19
Figura 2 - Pseudocódigo do PSO (Kennedy & Eberhart, 1995)	23
Figura 3 - Exemplo de geração de solução inicial.....	27
Figura 4 - Exemplo de solução com posição e velocidade de cada partícula.....	28
Figura 5 - Deslocação incremental da partícula no espaço de soluções.....	28
Figura 6 - Deslocação incremental da partícula no espaço de soluções.....	29
Figura 7 - Atualização da posição da partícula.....	29
Figura 8 - pseudocódigo do DPSO	34
Figura 9 - Algoritmo DPSO.....	37
Figura 10 - Diagrama de Pareto de efeitos normalizados e interações da 1ª Experiência	45
Figura 11 - Gráfico dos principais efeitos de fatores e interações da 1ª Experiência.....	45
Figura 12 - Diagrama de Pareto de efeitos normalizados e interações da 2ª Experiência	49
Figura 13 - Gráfico dos principais efeitos de fatores e interações da 2ª Experiência.....	49
Figura 14 - Diagrama de Pareto de efeitos normalizados e interações da 3ª Experiência	53
Figura 15 - Gráfico dos principais efeitos de fatores e interações da 3ª Experiência.....	53
Figura 16 - Diagrama de Pareto de efeitos normalizados e interações da 4ª Experiência	58
Figura 17 - Gráfico dos principais efeitos de fatores e interações da 4ª Experiência.....	59
Figura 18 - Diagrama de Pareto de efeitos normalizados e interações da 5ª Experiência	60
Figura 19 – Gráfico dos principais efeitos de fatores e interações da 5ª Experiência	61
Figura 20 - Diagrama de Pareto de efeitos normalizados e interações da 6ª Experiência	62
Figura 21 - Gráfico dos principais efeitos de fatores e interações da 6ª Experiência.....	63
Figura 22 - Diagrama de Pareto de efeitos normalizados e interações da 7ª Experiência	64
Figura 23 - Gráfico dos principais efeitos de fatores e interações da 7ª Experiência.....	65
Figura 24 - Diagrama de Pareto de efeitos normalizados e interações da 8ª Experiência	66
Figura 25 - Gráfico dos principais efeitos de fatores e interações da 8ª Experiência.....	67

página propositadamente em branco

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Membros da Equação 9 - Velocidade da partícula.....	26
Tabela 2 - Membros da Equação 10 - Atualização da posição da partícula.....	26
Tabela 3 - Membros da Equação 11 - Velocidade da partícula.....	30
Tabela 4 - Membros da Equação 12 - Velocidade da partícula.....	31
Tabela 5 - Membros da Equação 13 - Velocidade da partícula do DPSO.....	32
Tabela 6 - Membros da Equação 14 - Atualização da posição da partícula do PSO.....	32
Tabela 7 - Membros da Equação 15 - Vetor de posições.....	35
Tabela 8 - Membros da Equação 16 - Vetor de velocidades.....	35
Tabela 9 - Membros da Equação 17 - Vetor de coordenadas.....	35
Tabela 10 - Membros da Equação 18 Equação 16 - Vetor de distâncias.....	36
Tabela 11 - Membros da Equação 19 - Vetor de posição inicial.....	36
Tabela 12 - Problemas e soluções ótimas.....	39
Tabela 13 - Níveis da 1ª experiência fatorial.....	40
Tabela 14 - Planos fatoriais.....	40
Tabela 15 - Corridas iniciais do DPSO.....	40
Tabela 16 - Efeitos e ANOVA da 1ª Experiência.....	43
Tabela 17 - Legenda de Efeitos.....	44
Tabela 18 - Melhores prestações da 1ª Experiência.....	46
Tabela 19 - Corridas Parciais do DPSO da 2ª Experiência (Tabela completa no Apêndice C).....	47
Tabela 20 - Efeitos e ANOVA da 2ª Experiência (Tabela completa no Apêndice H).....	48
Tabela 21 - Melhores prestações da 2ª Experiência.....	50
Tabela 22 - Níveis da 1ª experiência fatorial.....	51
Tabela 23 - Corridas Parciais do DPSO da 3ª Experiência (Tabela completa no APÊNDICE I).....	51
Tabela 24 - Efeitos e ANOVA da 3ª Experiência (Tabela completa no APÊNDICE M).....	52
Tabela 25 - Melhores prestações da 3ª Experiência.....	54
Tabela 26 - Matriz ortogonal Taguchi L18.....	56
Tabela 27 - Valores dos níveis com variação de 50%.....	56
Tabela 28 - Primeira Matriz ortogonal Taguchi L18 do DPSO para att48.....	57
Tabela 29 - Melhores prestações da 4ª Experiência.....	58
Tabela 30 - Legenda de Efeitos.....	58
Tabela 31 - Valores dos níveis para a segunda matriz L18.....	59
Tabela 32 - Melhores prestações da 5ª Experiência.....	60
Tabela 33 - Valores dos níveis para a terceira matriz L18.....	61
Tabela 34 - Melhores prestações da 6ª Experiência.....	61
Tabela 35 - Valores dos níveis para a quarta matriz L18.....	63
Tabela 36 - Melhores prestações da 7ª Experiência.....	63
Tabela 37 - Valores dos níveis para a quinta matriz L18.....	65
Tabela 38 - Melhores prestações da 8ª Experiência.....	65
Tabela 39 - Valores dos parâmetros com a melhor relação de robustez e eficácia.....	68
Tabela 40 - Melhores prestações da 4ª Experiência.....	68
Tabela 41 - Melhor prestação do DPSO para o att48.....	68

página propositadamente em branco

LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS

Lista de Siglas

ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
P. Porto	Instituto Politécnico do Porto
PSO	Particle Swarm Optimization (Otimização por Enxame de Partículas)
DPSO	Discrete Particle Swarm Optimization (Otimização por Enxame de Partículas Discretas)
TSP	Traveling Salesman Problem (Problema do Caixeiro Viajante)
VBA	Visual Basic for Applications
DOE	Design of Experiments (Planeamento de Experiências)
SA	Simulated Annealing (Recozimento Simulado)
TS	Tabu Search (Pesquisa Tabu)
AE	Algoritmos Evolutivos
IE	Inteligência de Enxame
RN	Redes Neurais
Pbest	Particle Best
Gbest	Global Best

página propositadamente em branco

1. INTRODUÇÃO

Existem problemas de otimização que são muito complexos para serem resolvidos com eficiência por métodos determinísticos. Para esses problemas, onde métodos determinísticos provaram ser ineficientes, se não completamente inutilizáveis, é comum o uso de métodos aproximados, ou seja, métodos de otimização que resolvem os problemas rapidamente, independentemente do seu tamanho ou complexidade, mesmo não garantindo soluções ideais. Em outras palavras, métodos que encontram soluções “aceitáveis”, eficientemente (Sequeiros et al., 2022). Um tipo particular de método aproximado, que é particularmente eficaz em problemas complexos, são as meta-heurísticas. A Otimização por Enxame de Partículas (Particle Swarm Optimization – PSO) é uma meta-heurística de base populacional, que tem sido particularmente bem-sucedida. Para ampliar a aplicação e superar a limitação da Otimização de enxame de partículas, neste trabalho, uma versão discreta das meta-heurísticas é proposta. A Otimização por Enxame de Partículas Discretas (Discrete Particle Swarm Optimization – DSPO), alterará o algoritmo PSO para ser aplicada a problemas discretos de otimização.

1.1. Enquadramento e pertinência

Não existe negócio que não tenha de ser gerido de alguma forma, e é nesse aspeto que a Gestão de Operações tem sido um elemento-chave na melhoria da produtividade de negócios em todo o mundo.

O objetivo fundamental da gestão de operações é garantir a transformação eficaz de *inputs*, sejam estes recursos, matérias-primas ou necessidades em *outputs*, sejam estes produtos, serviços ou a satisfação das mesmas necessidades. Nesse sentido, independentemente do tipo de organização, as decisões a serem tomadas no âmbito operacional são semelhantes e dizem respeito à forma como os produtos ou serviços serão produzidos, nomeadamente no que respeita ao planeamento das atividades, utilização dos recursos e seleção dos indicadores para monitorização a prestação da organização (Lisboa & Gomes, 2006).

Pode-se separar as questões fundamentais da Gestão de Operações em dois grandes grupos:

- As questões de natureza estrutural e estratégica, nomeadamente aquelas que estão relacionadas com o produto/serviço, o processo produtivo, a localização, a distribuição operacional ou as especificidades do posto de trabalho.
- E as questões que dizem respeito ao planeamento e controlo das atividades diárias da organização, nomeadamente aquelas que estão relacionadas com a utilização dos recursos, com o controlo da qualidade, ou ainda com o acompanhamento operacional.

Neste trabalho vai-se tratar as questões que dizem respeito ao planeamento e controlo das atividades produtivas e sua otimização. Entende-se que a otimização ocorre aquando da minimização de tempo, custo e risco ou maximização de lucro, qualidade e eficiência (Pinedo, 2008). Assim sendo, os problemas ditos de otimização traduzem-se na procura da solução ótima, sendo encontrados em muitos domínios, como ciência, engenharia e gestão de negócios. Considera-se que um problema de otimização é difícil quando a obtenção do ótimo global por métodos determinísticos não é viável em prazos percecionados como “razoáveis” (Hansen et al., 2003).

Face ao cenário atual, marcado pela competitividade, em mercados caracterizados pela procura de produtos de elevada qualidade, com custo e prazos de entrega reduzidos, as empresas não podem despende o tempo necessário para a resolução dos problemas de otimização por métodos determinísticos, sendo, por esse motivo, confrontadas frequentemente com «problemas de otimização difíceis». A simulação computacional, nomeadamente a utilização de meta-heurísticas na resolução destes problemas, é uma das ferramentas que as empresas podem utilizar para adquirir e organizar o conhecimento necessário para adaptarem os seus sistemas de produção, alcançando tempos de resolução aceitáveis, com possibilidade de atualização face às alterações encontradas no dia-a-dia (Fernandes, 2008; Jesus, 2002; Pinedo, 2008).

No que respeita às meta-heurísticas, estas são um campo de atuação das ciências computacionais e matemática aplicada, relacionadas com algoritmos e teoria da complexidade (de Jong, 2012). Apesar das primeiras meta-heurísticas remontarem muito anteriormente, no decorrer da última década do século passado foi possível testemunhar o claro desenvolvimento de inúmeras meta-heurísticas que compreendem conhecimentos de várias áreas de estudo, como a inteligência artificial, inteligência computacional, programação matemática e investigação operacional (Hansen et al., 2003). Estas utilizam metáforas para mimetizar comportamentos da natureza para resolução de problemas de complexidade superior, como os casos da teoria da evolução, colónia de formigas ou sistema imunitário (Talbi, 2009).

Da panóplia de meta-heurísticas disponíveis verifica-se uma tendência de utilizar um pequeno número de meta-heurísticas para resolver problemas de características semelhantes. Nos últimos anos tem-se verificado a continuada investigação das meta-heurísticas na resolução de problemas onde se mostram mais promissoras, permitindo cada vez melhores prestações, mas, apenas, em problemas e respetivas instâncias específicas. No caso de empresas que são recorrentemente confrontadas com problemas complexos semelhantes, as ferramentas especializadas são as mais adequadas. Porém, empresas com problemas de diferentes categorias vêm-se obrigadas a recorrer a várias ferramentas, não tendo à sua disposição uma que seja capaz de resolver, pelos menos satisfatoriamente estes problemas.

Neste trabalho, pretende-se atribuir versatilidade a uma ferramenta originalmente criada para resolver problemas contínuos, ao desenvolver uma versão para que esta consiga resolver, satisfatoriamente, problemas discretos de diferentes categorias.

1.2. Questão e objetivos de investigação

Retomando a pertinência apresentada, a questão de investigação é: Será possível utilizar uma meta-heurística com resultados comprovados em problemas contínuos e alterar o seu procedimento para obter os mesmos resultados em problemas discretos?

Por forma a responder à questão enunciada pretende-se valores de eficácia e robustez atingidos por uma única meta-heurística em problemas discretos. A eficácia será apresentada em forma de desvio, em grandeza percentual em relação ao ótimo global conhecido e a robustez terá em conta o desvio padrão apresentado de entre as soluções apresentadas.

A eficiência não será tida em conta, porque devido ao elevado nível da linguagem de programação a ser utilizado, *Visual Basic for Applications* (VBA), o tempo de processamento será prejudicado comparativamente a linguagens de nível inferior.

Para tal será necessário:

- O desenvolvimento de uma codificação adequada para a interpretação do problema discreto, a representação discreta dos resultados bem como alterações ao procedimento da Meta-heurística para o devido tratamento e processamento dos dados discretos.
- A parametrização do algoritmo será realizada com recurso a técnicas de planeamento de experiências.

1.3. Opções metodológicas

No sentido de cumprir os objetivos delineados considera-se como melhor método de abordagem o uso da metodologia dedutiva e indutiva, associada a uma lógica que permita a pesquisa de informação e tratamento da mesma voltando de seguida à pesquisa de dados para preencher as lacunas verificadas no desenvolvimento dos capítulos teóricos.

Será desenvolvida a codificação necessária para a interpretação e apresentação de resultados discretos, e para a parametrização do algoritmo será utilizada a um planeamento de experiências para otimização do desempenho do algoritmo (Dean et al., 1999). Dessa forma, ao utilizar os resultados quantitativos das experiências é possível descrever quais as variáveis de teste que mais afetam a resposta, obter informações sobre as inter-relações entre as variáveis ao descrever o seu efeito combinado. Assim espera-se entender as interações dos parâmetros no algoritmo que orientam para a melhor solução (Giovanni, 1983).

1.4. Estrutura do trabalho

Além do capítulo de Introdução, este trabalho contém os capítulos de Revisão Bibliográfica, de Métodos e Aplicação, de Resultados e Discussão e de Conclusão.

Na Revisão Bibliográfica são abordadas as meta-heurísticas como métodos estocásticos, a Otimização por Enxame de Partículas (PSO) como algoritmo de otimização a Otimização por Enxame de Partículas Discretas (DPSO) como versão do PSO adaptada para resolver problemas discretos. Também são abordados do Problemas de Otimização e o Problema do Caixeiro Viajante (TSP) como problema de planeamento de rotas de referência. Para fundamentar as opções metodológicas apresenta-se também pontos dedicados ao Planeamento de experiências (DOE).

No capítulo dedicado aos Métodos e Aplicação estrutura-se o desenvolvimento e codificação necessária para a interpretação e apresentação de resultados discretos do PSO, e seguidamente, para a parametrização do algoritmo são demonstradas as técnicas de planeamento de experiências para otimização do desempenho do algoritmo. Aqui também são identificadas quais as variáveis de teste que mais afetaram a resposta.

Nos Resultados e Discussão são apresentados os resultados das diferentes corridas do DOE, bem como as decisões subsequentes no DOE sobre os resultados devolvidos.

No capítulo da Conclusão são enumeradas as conclusões obtidas, as limitações encontradas, e ainda são sugeridas algumas orientações para investigações e/ou desenvolvimentos futuros no âmbito da questão de investigação colocada neste trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo procede-se à revisão bibliográfica com o intuito de enquadrar o trabalho, abordando as Meta-heurísticas como métodos estocásticos, o PSO como algoritmo de otimização o DPSO como versão do PSO adaptada para resolver problemas discretos. Na bibliografia disponível também se consultou o tema dos Problemas de Otimização, o TSP como problema de planeamento de rotas de referência. Para fundamentar as opções metodológicas apresenta-se também capítulos dedicados ao DOE.

2.1. Meta-heurísticas

Nos últimos trinta anos, um grande interesse foi dedicado às meta-heurísticas (Boussaïd et al., 2013). Existem problemas de otimização que são muito complexos para serem resolvidos com eficiência por métodos determinísticos. Para esses problemas, onde os métodos determinísticos provaram ser ineficientes, se não completamente inutilizáveis, é comum o uso de métodos aproximados, ou seja, métodos de otimização que resolvem os problemas rapidamente, independentemente de seu tamanho ou complexidade, mesmo que não garantam soluções ótimas. Em outras palavras, métodos que encontram soluções "aceitáveis", eficientemente (Sequeiros et al., 2022).

Um tipo particular de método aproximado, que é particularmente eficaz em problemas complexos, são as meta-heurísticas. Uma meta-heurística é um algoritmo projetado para resolver uma ampla gama de problemas de otimização rígida sem precisar se adaptar profundamente a cada problema (Hansen et al., 2003; Talbi, 2009).

Como tal, existe uma vasta gama de meta-heurísticas diferentes que variam de acordo com o problema. Pode haver meta-heurísticas baseadas em solução única, como pesquisa local (Henderson et al., 2006), Reconhecimento Simulado (SA) (Henderson et al., 2006; Nourani & Andresen, 1998), Pesquisa Tabu (TS) (Zhou et al., 2018), entre outras, ou meta-heurísticas baseadas em população como Algoritmos Evolutivos (AE) (Eiben & Smit, n.d.) e Inteligência de Enxame (IE) (Shelokar et al., 2007), em que PSO e DPSO estão incluídos (Talbi, 2009).

Segundo Boussaïd, as meta-heurísticas compartilham características como inspiração por alguns princípios da natureza, da física, biologia ou etologia, fazem uso de componentes estocásticos, não usam o gradiente ou a matriz hessiana da função objetivo; eles têm vários parâmetros que precisam ser ajustados ao problema (Boussaïd et al., 2013).

2.1.1. Otimização por Enxame de Partículas

O PSO é um método de otimização baseado em população proposto pela primeira vez por Kennedy e Eberhart (Kennedy & Eberhart, 1995) para resolver problemas de otimização contínua multimodal. No contexto da otimização, várias soluções de um determinado problema constituem uma população, o enxame, e cada solução é vista como um organismo social, também chamado de partícula. O método tenta imitar o comportamento de um enxame de partículas movendo-se no espaço da solução, inspirado no cardume de peixes ou em um bando de pássaros.

Pode ser usado para resolver uma ampla variedade de problemas, incluindo treino de Redes Neurais (RN) e minimização de funções (Van Den Bergh, 2001). As características mais importantes do PSO são a facilidade de implementação e a necessidade de informações gradientes (Erik et al., 2010).

O algoritmo gera uma população inicial aleatória de partículas, na qual toda e cada partícula mantém uma solução do problema com três parâmetros: posição, velocidade e adequação.

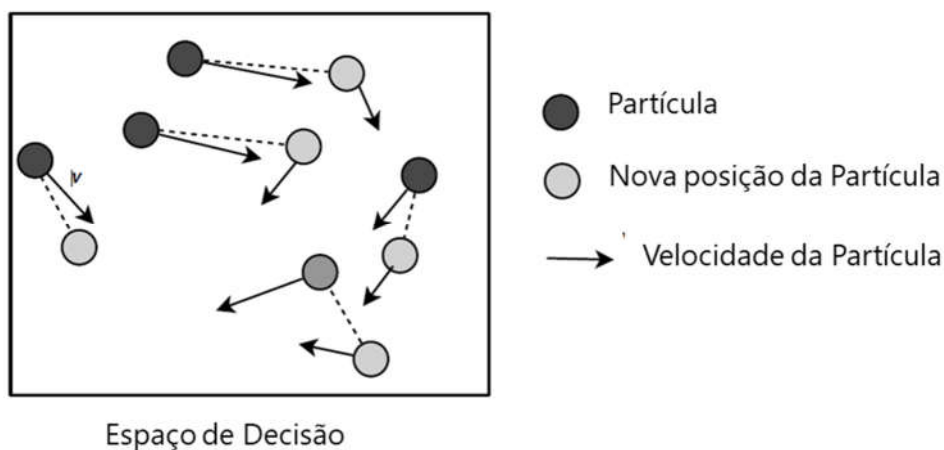


Figura 1 - Representação Euclidiana do PSO (Kennedy & Eberhart, 1995)

A cada iteração, cada partícula muda sua posição com base na velocidade calculada considerando sua melhor posição anterior e a melhor entre todas as partículas da população. O algoritmo será executado até que os critérios de parada sejam alcançados (Kennedy & Eberhart, 1995; MAH et al., 2016).

2.1.2. Otimização por Enxame de Partículas Discretas

O PSO para ser aplicado a problemas discretos de otimização necessita da devida adaptação na sua codificação. Kennedy & Eberhart propõem uma versão binária discreta do PSO, cujas trajetórias e velocidades das partículas são definidas pela mudança de probabilidades de que um bit é definido como 0 ou 1 (Fan, 2010). As partículas movem-se num espaço de estados restrito a 0 e 1 com uma certa probabilidade que é uma função de fatores individuais e sociais (Shelokar et al., 2007).

Ultimamente, vários artigos descreveram algumas alterações no algoritmo PSO inicial para resolver o TSP. Por exemplo, Zhong introduziu um novo parâmetro, chamado fator de mutação, e ajudou a manter o equilíbrio entre exploração e intensidade (Zhong et al., 2007). Além disso, diferentes operações de troca em pares podem ser usadas, 2-swap ou 2-exchange, por exemplo (Tasgetiren et al., 2017).

2.2. Problemas de Otimização

Dada uma instância pertencente a um problema, se o interesse é encontrar a melhor opção pertencente ao conjunto de soluções possíveis, em que tanto o estado inicial, desejado, final e intermédios pertençam todos a esse mesmo conjunto. Tal é o caso de quando queremos determinar o ponto mais próximo de outro e ambos existem no mesmo plano, ou quando dado um grafo ponderado e pretendemos obter o ciclo Hamiltoniano com o mínimo custo possível. Problemas deste género são denominados de problemas de otimização, e surgem na maioria das atividades perpetradas pela humanidade desde o início da história e matemáticas (Ausiello et al., 2012).

2.2.1. Problema do Caixeiro Viajante

Mais concretamente, optou-se pela demonstração da meta-heurística da Otimização de enxame de partículas, fazendo a sua demonstração para um problema de planeamento de rota, especificamente o Problema do Caixeiro Viajante (Traveling Salesman Problem – TSP), por ser um problema fácil de definir, mas, cuja dificuldade aumenta exponencialmente à medida que o número de pontos aumenta. (Peker et al., 2013)

O planeamento de rotas é um género de problemas cujo objetivo é determinar a rota mais curta, económica e disponível de um ponto (x) para outro (y) num mapa, parando em cada ponto (cidade). Um TSP é um problema de planeamento de rotas em que um vendedor ambulante visita cada cidade exatamente uma única vez (ciclo hamiltoniano) (Talbi, 2009).

2.3. Planeamento de Experiências

A otimização das configurações de parâmetros é uma das tarefas mais importante no desenvolvimento de algoritmos. Vários procedimentos/configuradores automatizados de ajuste de parâmetros foram propostos na literatura especializada, sendo que a maioria dos quais funciona efetivamente quando é fornecida uma boa faixa inicial para os valores dos parâmetros. No Planeamento de Experiências, ou *Design de Experiments* (DOE), sabe-se que uma boa faixa inicial leva a uma configuração ideal de parâmetros. (Gunawan et al., 2011)

Design Of Experiments (DOE) é uma poderosa ferramenta estatística introduzida por R. A. Fisher em Inglaterra nos anos 1920's para estudar o efeito de várias variáveis em simultâneo. No início, pretendia estudar qual a quantidade de chuva, água, fertilizante, luz solar, entre outros, eram necessários para ter as melhores colheitas. Desde esse tempo, muitos desenvolvimentos foram conseguidos.

Aplicado devidamente, o DOE pode ser importante componente da investigação científica ou de um projeto de engenharia. O método científico orienta essas investigações, como consequência, estes exigem várias instâncias de resultados. Sempre que um investigador reúne dados, o que está efetivamente a fazer é uma experiência. Um fraco planeamento de experiências, ou a sua ausência originam, em muitos casos, experiências compostas por mais, ou menos, verificações do que seria necessário e por consequência, a resultados insuficientes ou com demasiados valores residuais. O objetivo principal do DOE é garantir uma investigação bem planeada, que maximize a informação recolhida com o mínimo de ensaios (Vining, 2011).

Muitas das abordagens estatísticas atuais para o planejamento de experiências derivam do trabalho de R. A. Fisher no início do século XX (Yates, 1964). Fisher demonstrou que ao dedicar mais tempo a considerar o projeto e a execução de cada experiência antes de a executar ajudou a evitar problemas frequentemente encontrados na análise. Os conceitos-chave na criação de um DOE incluem o agrupamento em blocos, a aleatoriedade e a replicação.

3. MÉTODOS E APLICAÇÃO

Como anteriormente indicado, primeiramente será desenvolvida a codificação necessária para a interpretação e apresentação de resultados discretos. Posteriormente, para a parametrização do algoritmo será feito recurso a técnicas de planeamento de experiências para otimização do desempenho do algoritmo (Box & Draper, 2007; Khuri & Cornell, 2018; Myers et al., 2016). Espera-se que assim se consiga identificar quais as variáveis de teste que mais afetam a resposta e obter informações sobre as inter-relações entre essas mesmas variáveis ao descrever o seu efeito combinado. Assim espera-se entender as interações dos parâmetros no algoritmo que orientam para a melhor solução (Giovanni, 1983).

3.1. Algoritmo

Neste capítulo é apresentado o método utilizado para a criação do algoritmo, desde o pseudocódigo do PSO original, definição da função objetivo, apresentação dos parâmetros, definição dos critérios de paragem e discretização.

3.1.1. Pseudocódigo PSO

Neste capítulo é apresentado o pseudocódigo do PSO, sendo este uma linguagem intermédia entre a linguagem natural e uma linguagem de programação.

```

Inicialização aleatória de enxame;
Repetir
    Avaliar  $f(x_i)$  ;
    Para todas as partículas  $i$ 
        Atualizar velocidades:

$$v_i(t) = v_i(t - 1) + p_1 \times (p_{i1} - x_i(t - 1)) + p_2 \times (p_{i2} - x_i(t - 1)) ;$$

        Mover para nova posição:  $x_i(t) = x_i(t - 1) + v_i(t)$  ;
        Se  $f(x_i) < f(pbest_i)$  então  $pbest_i = x_i$ ;
        Se  $f(x_i) < f(gbest)$  então  $gbest = x_i$ ;
        Atualizar  $(x_i, v_i)$  ;

    Fim
Até critério de paragem

```

Figura 2 - Pseudocódigo do PSO (Kennedy & Eberhart, 1995)

Após a inicialização aleatória do enxame, inicia-se a rotina nuclear do algoritmo que será repetida até que um dos critérios de paragem seja atingido.

A rotina inicia-se com a avaliação da solução proposta, seja esta a inicial ou uma já reorganizada e devolvida pelo algoritmo, que é considerada e guardada como a melhor solução global – *global best* (*Gbest*). Seguidamente é calculado o vetor de velocidade para cada partícula, com a contribuição do vetor de velocidade que a partícula apresenta e de cada um dos parâmetros definidos. Apurado

o vetor de velocidade, este é aplicado sobre a posição atual da partícula movendo-a no espaço de soluções possíveis.

Uma vez apurada a nova posição da partícula, esta é avaliada e a sua prestação é comparada com a prestação da posição considerada como sendo a melhor da partícula – *particle best* ($Pbest$). Se a nova posição apresentar melhor prestação que a $Pbest$ atual, a nova posição assume-se como o novo melhor histórico da partícula, caso contrário o $Pbest$ mantém-se com a posição anterior.

O mesmo comando de comparação ocorre com a prestação da partícula que detém a melhor prestação de todo o enxame de partículas, o $Gbest$. Caso a nova posição da partícula apresente melhor prestação histórica do enxame, esta passa a ser a nova $Gbest$.

Independentemente da prestação da nova posição, a partícula assume a nova posição no espaço de soluções e atualiza a sua velocidade para o vetor anteriormente calculado, concluindo assim, a partícula, um ciclo da rotina nuclear do algoritmo.

Como já referido no início do capítulo, o ciclo repete-se até que um dos critérios de paragem sejam atingidos e o algoritmo devolver a posição da partícula guardada no $Gbest$.

3.1.2. Função objetivo do Problema

Para que o algoritmo possa devolver a melhor solução encontrada, é necessário que o PSO consiga avaliar cada uma das partículas devolvidas por cada iteração. Essa avaliação, ou *Fitness*, é definida pela função objetivo do Problema. Para se definir o TSP é necessário considerar o número de cidades e a distância entre estas, então:

Dado o conjunto de n cidades c_i (Equação 1):

$$C = \{c_1, \dots, c_n\} \quad \text{Equação 1}$$

Que são definidas como pontos num espaço euclidiano (Equação 2):

$$C_1 = (x_1; y_2), \dots, C_n = (x_n; y_n) \quad \text{Equação 2}$$

E se se considerar um TSP simétrico, a distância entre nós é dada por (Equação 3):

$$\overline{C_i C_j} = \text{round} \left(\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \right) \quad \text{Equação 3}$$

Então, a matriz de distância A_{ij} é (Equação 4):

$$A = \begin{bmatrix} \overline{C_1 C_1} & \cdots & \overline{C_1 C_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \overline{C_n C_1} & \cdots & \overline{C_n C_n} \end{bmatrix} \quad \text{Equação 4}$$

Definida como (Equação 5):

$$a_{ij} = a(c_i, c_j) (i, j \in \{1, \dots, n\}, a_{ii} = 0, a_{ij} = a_{ji}) \quad \text{Equação 5}$$

E como cada solução é uma permutação (P) de C que pertence ao conjunto de soluções S_m , definido por (Equação 6):

$$P \in S_m = \{s: \{1, \dots, n\} \rightarrow \{1, \dots, n\}\} \quad \text{Equação 6}$$

E função objetivo (Equação 7):

$$f(x) = \sum_{k=1}^{n-1} aP(k), P(k+1) + aP(n), P(1) \quad \text{Equação 7}$$

Cujo propósito é minimizar, logo (Equação 8):

$$\text{Min } Z = \sum_{k=1}^{n-1} aP(k), P(k+1) + aP(n), P(1) \quad \text{Equação 8}$$

3.1.3. Cálculo do vetor de velocidade

A escolha de parâmetros no PSO, poderá resultar em resultados muito diferentes. Uma boa configuração destes poderá levar o algoritmo a convergir para os melhores resultados em pouco tempo, enquanto uma pior configuração poderá levar o algoritmo a correr indefinidamente à procura de uma solução que poderá não ser adequada (Sarmady, n.d.). A contribuição dos parâmetros no PSO surgem no cálculo do novo vetor de velocidade, representada na Equação 9.

$$v_i(t+1) = v_i(t) + \left(c_1 \times \text{rnd}() \times (p_i^{\text{best}} - p_i(t)) \right) + \left(c_2 \times \text{rnd}() \times (p_{g\text{best}} - p_i(t)) \right) \quad \text{Equação 9}$$

Tabela 1 - Membros da Equação 9 - Velocidade da partícula

i:	Índice da partícula
$v_i(t + 1)$:	Nova velocidade da partícula i
$v_i(t)$:	Velocidade atual da partícula i
c_1 :	Influência do melhor histórico
rnd():	Função de geração de números aleatórios]0, 1[
p_i^{best} :	Posição que a partícula i assumiu aquando da sua melhor prestação
$p_i(t)$:	Posição atual da partícula i
c_2 :	Influência do melhor global
p_{gbest} :	Posição já assumida, por qualquer partícula, que obteve a melhor prestação

Sendo dois os parâmetros da equação de velocidade proposta no modelo de Kennedy e Eberhart (Kennedy & Eberhart, 1995):

- A Influência do melhor histórico (c_1), que melhora o indivíduo, fazendo o indivíduo voltar a uma posição anterior, com melhores resultados. Torna o algoritmo mais conservador;
- E a Influência do melhor global (c_2), que faz com que a partícula siga na direção onde o melhor resultado foi verificado, fazendo com que o melhor global seja abordado por diferentes “direções”.

3.1.4. Obtenção da nova posição de cada partícula

Consequência da posição atual e da velocidade apurada, obtêm-se a nova posição de cada uma das partículas. Para isso o PSO recorre à Equação 10 - atualização da posição da partícula - para fazer com que a partícula se desloque no espaço solução do problema.

$$p_i(t + 1) = p_i(t) + v_i(t + 1) \quad \text{Equação 10}$$

Tabela 2 - Membros da Equação 10 - Atualização da posição da partícula

i:	Índice da partícula
$p_i(t + 1)$:	Nova posição da partícula i
$p_i(t)$:	Posição atual da partícula i
$v_i(t + 1)$:	Nova velocidade da partícula i

3.1.5. Critérios de Interrupção

Os critérios de interrupção estão relacionados com o tempo de processamento ou número de iterações e pode ser de dois tipos: estático – quando se define um número máximo de iterações ou uma paragem por temporização; adaptativo - quando a pesquisa é interrompida depois de um número de iterações sem melhoria da solução (Ghoreishi et al., 2017; Safe et al., 2004). No PSO, tipicamente são utilizados dois critérios de paragem estáticos (número de iterações máximo e número de iterações sem melhoria) (Choong et al., 2011):

- Número de iterações máximo - O número máximo de iterações é atingido quando o algoritmo atinge o número de iterações pré-estabelecido.
- Número de iterações sem melhoria - O número de iterações sem melhoria admitido é alcançado quando o algoritmo não tem melhorias face aos resultados anteriormente obtidos.

3.1.6. Discretização da codificação do Problema

Como visto anteriormente, o PSO é uma meta-heurística desenvolvida para resolução de problemas contínuos. Devido à natureza discreta do TSP, foi necessário adaptar o algoritmo para interpretar, codificar e avaliar problemas discretos. Então, a inicialização aleatória do enxame, aplicado ao TSP, traduz-se na criação de várias sequenciações, uma para cada partícula, das cidades (nós) do problema.

A título de exemplo, considera-se um problema com 9 nós, e a geração de 5 partículas, como demonstrado na Figura 3.

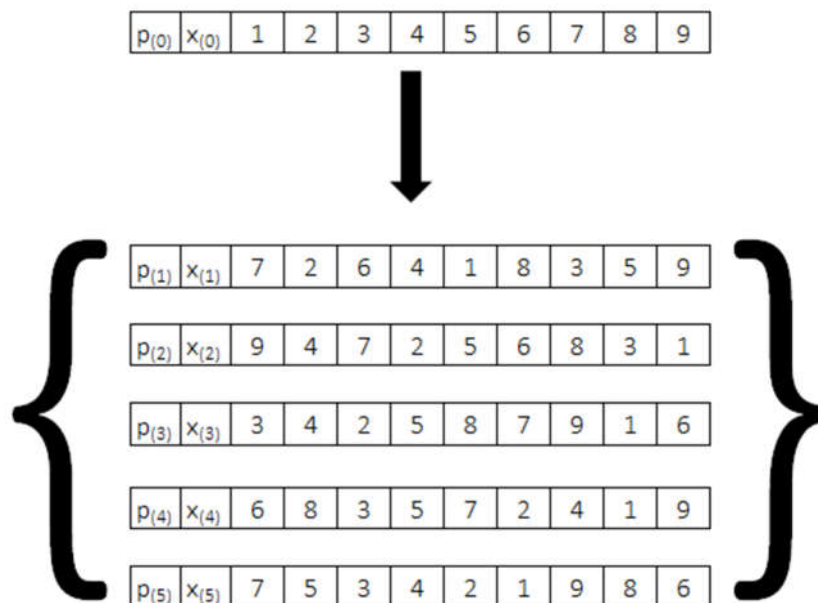


Figura 3 - Exemplo de geração de solução inicial

Sendo que cada partícula no enxame do PSO é definida pela sua posição no espaço de solução e pelo vetor de velocidade, também é necessário discretizar a velocidade/direção. Esta traduz-se numa sequência de números inteiros (inicialmente aleatória), compreendidos entre o valor negativo e positivo do número de nós que o problema apresenta, afetos a cada um dos nós, como mostrado na Figura 4. Esta grandeza numérica representa a deslocação do nó ao longo da partícula, na quantidade do seu valor absoluto, para esquerda ou para a direita, quando este número é negativo ou natural, respetivamente

{	$p_{(1)}$	$x_{(1)}$	7	2	6	4	1	8	3	5	9
	$v_{(1)}$	0	-1	2	0	0	-3	2	0	-4	
	$p_{(2)}$	$x_{(2)}$	9	4	7	2	5	6	8	3	1
	$v_{(2)}$	0	2	0	0	1	-2	0	0	0	-1
	• • •										
	$p_{(5)}$	$x_{(5)}$	7	5	3	4	2	1	9	8	6
	$v_{(5)}$	0	0	2	-1	-3	0	1	0	0	

Figura 4 - Exemplo de solução com posição e velocidade de cada partícula

Uma vez as partículas da solução caracterizadas, é tempo de as fazer deslocarem-se. Isto acontece incrementalmente, começando pelo nó mais à direita com a deslocação para a direita, como mostrado na Figura 5.

$p_{(1)}$	$x_{(1)}$	7	2	6	4	1	8	3	5	9
	$v_{(1)}$	0	-1	2	0	0	-3	2	0	-4
↓										
$p_{(1)}$	$x_{(1)}$	7	2	6	4	1	8	5	9	3
	$v_{(1)}$	0	-1	2	0	0	-3	0	-4	2
↓										
$p_{(1)}$	$x_{(1)}$	7	2	4	1	6	8	5	9	3
	$v_{(1)}$	0	-1	0	0	2	-3	0	-4	2

Figura 5 - Deslocação incremental da partícula no espaço de soluções

Esgotando os nós com deslocação para a direita, é vez do nós com deslocação para a esquerda, como esquematizado na Figura 6.

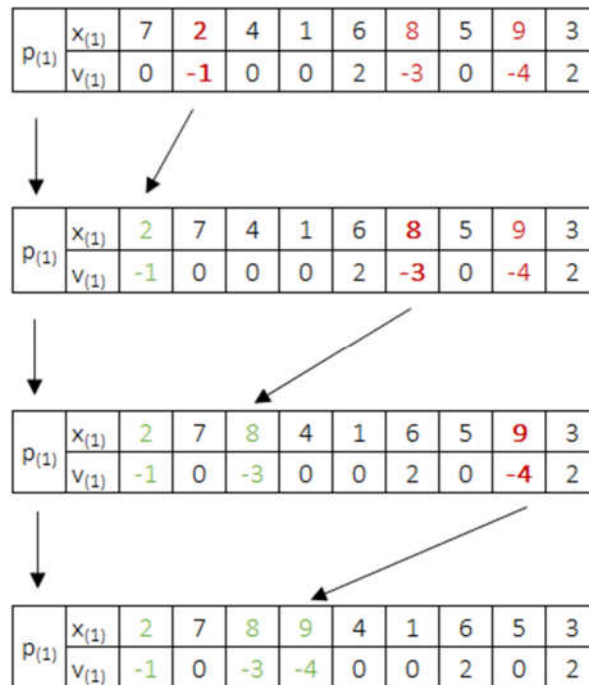


Figura 6 - Deslocação incremental da partícula no espaço de soluções

No final da movimentação de todos os nós com velocidades diferentes de zero, a partícula ocupa a sua nova localização no espaço de soluções (Figura 7).

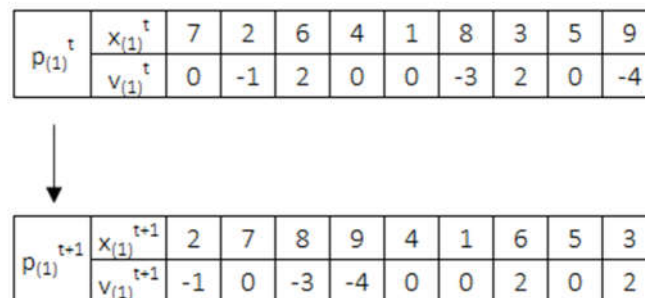


Figura 7 - Atualização da posição da partícula

3.1.7. Discretização do cálculo do vetor de velocidade

Como visto no modelo do PSO proposto por Kennedy e Eberhart (Kennedy & Eberhart, 1995), este apresenta dois parâmetros que contribuem para o cálculo do vetor de velocidade, a influência do melhor histórico e a influência do melhor global. Adicionalmente, verifica-se que a velocidade atual da partícula contribui sempre para o cálculo do novo vetor de velocidade. Também Kennedy e Eberhart propõem a primeira adaptação do PSO para que este consiga ser aplicado a problemas discretos, em que as trajetórias e velocidades das partículas são definidas pela mudança de probabilidades de que um bit é definido como 0 ou 1 (Fan, 2010). As partículas movem-se num espaço de estados restrito a 0 e 1 com uma certa probabilidade que é uma função de fatores individuais e sociais (Shelokar et al., 2007).

Como proposto no capítulo anterior, a discretização proposta do PSO é assente exclusivamente em números inteiros, podendo beneficiar do modelo do bit de Fan (Fan, 2010), mas em vez de limitarmos a incrementação a um bit que apenas assume os valores de 0 e 1, propõem-se todo o conjunto dos números inteiros, na medida da necessidade imposta por cada problema. Recordando que a velocidade da partícula, do modelo proposto de discretização, é uma sequência de números inteiros, então a equação de velocidade do modelo proposto não será afeto à partícula, mas sim a cada um dos nós da partícula.

Assim propõe-se a primeira equação de velocidade do DPSO (Equação 11):

$$v_{ij}(t + 1) = v_{ij}(t) + \left[\left(c_1 \times rnd() \times (p_{ij}^{best} - p_{ij}(t)) \right) \right] + \left[\left(c_2 \times rnd() \times (p_j^{gbest} - p_{ij}(t)) \right) \right] \quad \text{Equação 11}$$

Tabela 3 - Membros da Equação 11 - Velocidade da partícula

i:	Índice da partícula
j:	Índice do nó
$v_{ij}(t + 1)$:	Nova velocidade do nó j da partícula i
$v_{ij}(t)$:	Velocidade atual do nó j da partícula i
c_1 :	Influência do melhor histórico
$rnd()$:	Função de geração de números aleatórios]0, 1[
p_{ij}^{best} :	Posição que o nó j da partícula i assumiu na melhor prestação da partícula i
$p_i(t)$:	Posição atual do nó j da partícula i
c_2 :	Influência do melhor global
p_j^{gbest} :	Posição que o nó j assumiu quando uma partícula registou a melhor prestação global

Numa fase preliminar da discretização, foi a Equação 11 que integrou o algoritmo codificado em VBA. No entanto, devido à inércia imposta pela velocidade dos nós, estes, muitas vezes eram forçados para fora das posições onde estes contribuíram com melhores prestações da partícula. Assim, foi decidido adicionar um novo parâmetro ao modelo anteriormente proposto:

- Inércia, que faz com que a partícula se mova numa direção e velocidade influenciada pela velocidade anterior.

Então, o modelo proposto evolui para (Equação 12):

$$v_{ij}(t + 1) = \left[c_1 \times rnd() \times v_{ij}(t) \right] + \left[\left(c_2 \times rnd() \times \left(p_{ij}^{best} - p_{ij}(t) \right) \right) \right] + \left[\left(c_3 \times rnd() \times \left(p_j^{gbest} - p_{ij}(t) \right) \right) \right] \quad \text{Equação 12}$$

Tabela 4 - Membros da Equação 12 - Velocidade da partícula

i:	Índice da partícula
j:	Índice do nó
$v_{ij}(t + 1)$:	Nova velocidade do nó j da partícula i
c_1 :	Inércia
$rnd()$:	Função de geração de números aleatórios]0, 1[
$v_{ij}(t)$:	Velocidade atual do nó j da partícula i
c_2 :	Influência do melhor histórico
p_{ij}^{best} :	Posição que o nó j da partícula i assumiu na melhor prestação da partícula i
$p_i(t)$:	Posição atual do nó j da partícula i
c_3 :	Influência do melhor global
p_j^{gbest} :	Posição que o nó j assumiu quando uma partícula registou a melhor prestação global

Com a adição da inércia à equação de velocidade, aumentou-se o número de parâmetros, no entanto, sendo a inércia um fator intrínseco ao nó da partícula, as partículas continuam a movimentar-se movem-se num espaço de estados, agora não restrito a 0 e 1, mas contido ente 1 e o número de nós da partícula, com uma certa probabilidade que é uma função de fatores individuais e sociais (Shelokar et al., 2007).

Analisando a equação de velocidade (Equação 9) do modelo original do PSO (Kennedy & Eberhart, 1995), verifica-se que os parâmetros propostos são multiplicados por um número aleatório gerado entre 0 e 1. Pondo isto, quando o valor do parâmetro é superior a 1, a parcela calculada pode, potencialmente, contribuir para um vetor que fará a partícula deslocar-se para além da posição do melhor, global ou histórico da partícula. Apesar de ser um comportamento desejado no modelo original (Kennedy & Eberhart, 1995), para o modelo discreto proposto é a contribuição do parâmetro da inércia a responsável pela procura de outras posições para além das que se encontram entra a posição atual da partícula e os seus melhores (global e cognitivo). Então, para manter uma grandeza numérica análoga às propostas em trabalhos anteriores (André, n.d.; Jiang et al., 2007) com os valores dos parâmetros a encontrarem-se na ordem de 2, e para reduzir o comportamento errático verificado do modelo proposto quando os parâmetros assumem valores da mesma magnitude, optou-se por reduzir para uma décima parte a contribuição do parâmetro.

Ou seja, quando um parâmetro assume o valor de 2, no modelo original (Kennedy & Eberhart, 1995) a contribuição da parcela para o vetor de velocidade varia entre 0 (zero) e o dobro da diferença da posição (Equação 9), no modelo discreto proposto essa mesma contribuição será entre 0 (zero) e 20 % (vinte por cento) dessa diferença.

Finalmente, é proposto o modelo definitivo para o cálculo da velocidade do DPSO na Equação 13:

$$v_{ij}(t + 1) = \left[(0.1 \times c_1) \times rnd() \times v_{ij}(t) \right] + \left[\left((0.1 \times c_2) \times rnd() \times (p_{ij}^{best} - p_{ij}(t)) \right) \right] + \left[\left((0.1 \times c_3) \times rnd() \times (p_j^{gbest} - p_{ij}(t)) \right) \right] \quad \text{Equação 13}$$

Tabela 5 - Membros da Equação 13 - Velocidade da partícula do DPSO

i:	Índice da partícula
j:	Índice do nó
$v_{ij}(t + 1)$:	Nova velocidade do nó j da partícula i
c_1 :	Inércia
$rnd()$:	Função de geração de números aleatórios]0, 1[
$v_{ij}(t)$:	Velocidade atual do nó j da partícula i
c_2 :	Influência do melhor histórico
p_{ij}^{best} :	Posição que o nó j da partícula i assumiu na melhor prestação da partícula i
$p_i(t)$:	Posição atual do nó j da partícula i
c_3 :	Influência do melhor global
p_j^{gbest} :	Posição que o nó j assumiu quando uma partícula registou a melhor prestação global

3.1.8. Discretização da equação de atualização da posição da partícula

Como verificado no pseudocódigo do PSO, após o cálculo da velocidade é necessário atualizar a posição da partícula no espaço de soluções do problema. E, em consonância com a discretização da codificação e do cálculo da velocidade, em que estas são aplicadas, não sobre a partícula, mas sim sobre os seus nós, então, a equação de atualização da posição da partícula também tem de refletir isso, como verificado na Equação 14 - Atualização da posição da partícula:

$$p_{ij}(t + 1) = p_{ij}(t) + v_{ij}(t + 1) \quad \text{Equação 14}$$

Tabela 6 - Membros da Equação 14 - Atualização da posição da partícula do PSO

i:	Índice da partícula
----	---------------------

j:	Índice do nó
$p_{ij}(t + 1)$:	Nova posição do nó j da partícula i
$p_{ij}(t)$:	Posição atual do nó j da partícula i
$v_{ij}(t + 1)$:	Nova velocidade do nó j da partícula i

3.1.9. Critérios de Paragem do DPSO

Como visto anteriormente os critérios de interrupção podem ser de dois tipos (Ghoreishi et al., 2017; Safe et al., 2004):

- Estático: quando se define um número máximo de iterações ou uma paragem por temporização, favorecendo a eficiência de um algoritmo;
- Adaptativo: quando a pesquisa é interrompida depois de um número de iterações sem melhoria da solução, favorecendo a eficácia de um algoritmo.

Tendo em conta o objetivo de compreender a potencial eficácia do DPSO, os critérios estáticos foram desconsiderados por forma a não limitar a prestação do algoritmo enquanto este continua a melhorar uma solução. Assim, apenas se considerou o critério de interrupção adaptativo de número máximo de iterações sem melhoria da solução, que como será visto posteriormente, assume-se como um parâmetro adicional no algoritmo proposto. Ou seja, a rotina é interrompida quando o número de iterações sem melhoria parametrizado é alcançado quando a solução não tem melhorias face aos resultados anteriormente obtidos (Jain et al., 2001).

3.1.10. Pseudocódigo

Como o PSO discretizado, o problema definido e codificado, estão reunidas as condições para propor o pseudocódigo do DPSO na Figura 8.

```

Inicialização aleatória de enxame;

Para todas as partículas i
    Avaliar  $f(p_i)$ ;
     $pbest_i = p_i$ ;
    Se  $f(p_i) < f(gbest)$  então  $gbests = p_i$ ;

Fim

Repetir
    Para todas as partículas i
        Para todos os nós j
            Atualizar velocidades:  $v_{ij}(t + 1)$ 
                 $= \left[ (0.1 \times c_1) \times rnd() \times v_{ij}(t) \right]$ 
                 $+ \left[ \left( (0.1 \times c_2) \times rnd() \times (p_{ij}^{best} - p_{ij}(t)) \right) \right]$ 
                 $+ \left[ \left( (0.1 \times c_3) \times rnd() \times (p_j^{gbest} - p_{ij}(t)) \right) \right]$ ;
            Mover para nova posição:  $p_{ij}(t + 1) = p_{ij}(t) + v_{ij}(t + 1)$ ;
            Avaliar  $f(p_i)$ ;
            Se  $f(p_i) < f(pbest_i)$  então  $pbest_i = p_i$ ;
            Se  $f(p_i) < f(gbest)$  então  $gbests = p_i$ ;

        Fim
        Atualizar  $(p_i, v_i)$ 

    Fim
Até critério de paragem

```

Figura 8 - pseudocódigo do DPSO

3.2. Implementação

Neste ponto demonstra o processo de codificação do DPSO, desde a codificação das variáveis.

3.2.1. Codificação

Como codificação foram escolhidos 4 vetores com dimensões distintas.

Um com três dimensões para armazenar as posições das partículas, os melhores históricos e o melhor global, todos acompanhados com as respectivas avaliações ou fitness (Equação 15). Em que uma das dimensões guarda o nó, que representa a localização relativa da partícula no vetor, ou seja, se na quarta (4ª) posição do vetor estiver o nó seis (6) significa que a cidade seis é a quarta cidade a ser visitada. Exceção feita na primeira e penúltima posição do vetor, que contém o mesmo nó, isto para representar que o TSP é um problema circular. E também na última posição é diferente porque é utilizada para guardar o valor da avaliação da solução.

A segunda dimensão guarda o identificador da partícula no enxame, e à semelhança da dimensão anterior, a localização relativa no vetor, é a identificação da partícula; isto, com a exceção da primeira posição que é utilizada para o melhor global. Por último, a terceira dimensão apenas apresenta 3 posições: uma para indicar o melhor histórico da partícula, outra para a posição atual da partícula e a última dedicada às iterações progressivas do algoritmo (3.1.6).

$$partículas(n + 2, p + 1, 3)$$

Equação 15

Tabela 7 - Membros da Equação 15 - Vetor de posições

partículas:	Vetor de posições
n:	Número de nós (cidades)
p:	Número de partículas do enxame

Um vetor com duas posições, dedicado ao armazenamento das velocidades dos nós (cidades) de cada partícula (Equação 16), sendo a primeira dimensão dedicada a identificar o nó da partícula e a segunda dimensão utilizada para armazenar a informação relativa à identificação da partícula.

$$velocidade(n, p)$$

Equação 16

Tabela 8 - Membros da Equação 16 - Vetor de velocidades

Velocidade:	Vetor de velocidades
n:	Número de nós (cidades)
p:	Número de partículas do enxame

Como os problemas propostos (3.3.3 e Anexo A) apresentam-se no repositório como coordenadas num espaço bidimensional, não sendo acompanhados pela respetiva matriz de distâncias. É necessário outro vetor, com duas dimensões dedicado à codificação interpretação do problema (Equação 17), em que a primeira dimensão guarda a ordenada ou abcissa, e a segunda dimensão limita-se a identificar se o valor da primeira se trata de uma ordenada ou de uma abcissa, respetivamente.

$$coordenadas(n, 2)$$

Equação 17

Tabela 9 - Membros da Equação 17 - Vetor de coordenadas

coordenadas:	Vetor de coordenadas
n:	Número de nós (cidades)

Um último vetor de duas dimensões que guarda a matriz de distâncias (Equação 18), demonstrada na Equação 4, calculado através das coordenadas obtidas pela Equação 17.

$$\text{distância}(n, n)$$

Equação 18

Tabela 10 - Membros da Equação 18 Equação 16 - Vetor de distâncias

distância:	Vetor de distâncias
n:	Número de nós (cidades)

Por fim, um vetor de uma única dimensão para apoiar a criação da solução inicial de cada partícula (Equação 19), cujo tamanho é igual ao número de nós mais 1 (um), em que localização de cada nó no array corresponde à sua posição na solução, sendo que a última posição armazena o fitness da solução inicial:

$$\text{inicial}(n + 1)$$

Equação 19

Tabela 11 - Membros da Equação 19 - Vetor de posição inicial

inicial:	Vetor de posição inicial
n:	Número de nós (cidades)

3.2.2. Programação

Uma vez definida a codificação da meta-heurística, e em posse do pseudocódigo do novo modelo proposto, passou-se à programação do algoritmo, no caso da presente dissertação, foi utilizado o VBA do Microsoft Excel, na Figura 9.

Para todos os nós i
 $inicial(i) = n_i$;
Para cada posição da segunda dimesão de coordenadas (n, j)
 $coordenadas(i, j) = x_i$ ou y_i ;

Para todos os nós i
Para todos os nós j
 $distâncias(i, j) = \text{round} \left(\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \right)$;

Para todas as partículas i
Aleatorizar $inicial(i)$;
 $inicial(n+1) = \sum_{k=1}^{n-1} aP(k), P(k+1) + aP(n), P(1)$;

Para todos os nós $j+1$
 $particulas(j, 1, 1) = inicial(j)$;

Para todos os nós $j+1$
 $particulas(j, i, 2) = particulas(j, 1, 1)$;

Para todos os nós j
 $velocidade(j, i) = \text{rnd}(\lceil -n/10, n/10 \rceil)$;

Repetir até iterações sem melhoria > número máximo de iterações sem melhoria
Para todas as partículas i
Para todos os nós j
 $velocidade(j, i) = \left[(0.1 \times c_1) \times \text{rnd}() \times v_{ij}(t) \right]$
 $+ \left[\left((0.1 \times c_2) \times \text{rnd}() \times (p_{ij}^{best} - p_{ij}(t)) \right) \right]$
 $+ \left[\left((0.1 \times c_3) \times \text{rnd}() \times (p_j^{gbest} - p_{ij}(t)) \right) \right]$;

Para todos os nós j
 $particulas(j, i, 3) = particulas(j, i, 2)$;

Para todos os nós j **passo** - 1
se $velocidade(j, i) > 0$
 $particulas(j, i, 3) = p_{ij}(t) + v_{ij}(t+1)$;
 $particulas(n+1, i, 3) = \sum_{k=1}^{n-1} aP(k), P(k+1) + aP(n), P(1)$;
se $particulas(n+1, i, 3) < particulas(n+1, i, 1)$
Para todos os nós $k+1$
 $particulas(k, i, 1) = particulas(k, i, 3)$;

Para todos os nós j **passo** 1
se $velocidade(j, i) < 0$
 $particulas(j, i, 3) = p_{ij}(t) + v_{ij}(t+1)$;
 $particulas(n+1, i, 3) = \sum_{k=1}^{n-1} aP(k), P(k+1) + aP(n), P(1)$;
se $particulas(n+1, i, 3) < particulas(n+1, i, 1)$
Para todos os nós $k+1$
 $particulas(k, i, 1) = particulas(k, i, 3)$;

Para todos os nós $j+1$
 $particulas(j, i, 2) = particulas(j, i, 3)$;

se $particulas(n+1, i, 1) < particulas(n+1, 1, 1)$
 $iterações\ sem\ melhoria = 0$
Para todos os nós $j+1$
 $particulas(j, 1, 1) = particulas(j, i, 3)$;

senão
 $iterações\ sem\ melhoria = iterações\ sem\ melhoria + 1$

Até critério de paragem
Para todos os nós $i+1$
Devolver $particulas(i+1, 1, 1)$

Figura 9 - Algoritmo DPSO

3.3. Planeamento de Experiências

Neste capítulo aborda-se a evolução das experiências efetuadas, desde a definição das variáveis utilizadas, bem como a compreensão do peso individual de cada uma no algoritmo desenvolvido.

Numa primeira fase, serão utilizados problemas diferentes, para compreender se os parâmetros têm todos o mesmo peso e contribuição em problemas diferentes, e tentar compreender se existe uma interação entre o problema e os fatores de controlo. Espera-se, já a partir daqui começar a determinar os fatores importantes e os não importantes no comportamento da variável de resposta.

Após a fase inicial espera-se conseguir concluir se determinados parâmetros, que têm maior impacto no desempenho da meta-heurística numa dada instâncias, vão ter o mesmo impacto no desempenho da meta-heurística em outras instâncias. Verificada a premissa, quando se estiver a afinar a parametrização, tais parâmetros terão incrementações inferiores. Por exemplo, se a componente cognitiva contribuir mais do que a social, nas incrementações para a parametrização da componente cognitiva, estas serão menores do que na componente social.

Encontrada a calibrações com boa prestação para uma instância de um determinado problema, seguem-se ensaios com instâncias diferentes do mesmo problema, esperando assim concluir que a um problema específico corresponderá uma parametrização específica.

Como valores de referência iniciais, vai-se fazer recurso à bibliografia disponível, bem como à experiência já adquirida ao longo da implementação do algoritmo.

3.3.1. Objetivo

O objetivo do planeamento de experiências, é encontrar uma parametrização que faça com que o DPSO obtenha bons resultados nas 3 dimensões de avaliação de meta-heurísticas, nomeadamente a eficiência, a eficácia e a robustez; ao mesmo tempo que também avalia o potencial do DPSO se tornar uma meta-heurística viável para a resolução de problemas discretos.

3.3.2. Parâmetros, Outras Variáveis e Fatores de Ruído

Como anteriormente dito, a escolha de parâmetros do PSO, poderá resultar em resultados muito diferentes. No planeamento de experiências proposto, estes parâmetros entram como variáveis de estudo para o planeamento de experiências em conjunto com as variáveis de: número máximo de iteração sem melhoria (3.1.9), e tamanho do enxame:

- Número de Partículas: Testes realizados na literatura indicam que o melhor tamanho de uma população está entre 10 e 50 indivíduos (Jiang et al., 2007). A grande maioria dos trabalhos publicados indica que esta é a faixa mais comum, não havendo melhorias significativas para número de partículas superiores (Choong et al., 2011).
- Inércia, Influência do melhor histórico e Influência do melhor global: No modelo inicial, considera-se que $C1 + C2 = 4$ (André, n.d.; Jiang et al., 2007), pelo que, por interpolação, considerou-se que $C1 + C2 + C3 = 6$

- Número de iterações sem melhoria: O número de iterações sem melhoria admitido é alcançado quando o algoritmo não tem melhorias face aos resultados anteriormente obtidos (Jain et al., 2001). Considerou-se como valor de teste um valor de 2000, baseado numa corrida efetuada previamente.

Tendo os parâmetros definidos, espera-se com o plano de experiências identificar quais os parâmetros mais influenciam no desempenho do DPSO, bem como quais as interações entre parâmetros, e quais é que poderão ser classificados como não importantes.

3.3.3. Problemas e Soluções

Para analisar o desempenho do DPSO foram utilizados os problemas propostos por Padberg e Rinaldi, nomeadamente: att48 e pr76 (Padberg & Rinaldi, 1991), bem como os propostos por Christofides e Eilon, nomeadamente: eil51 e eil76 (Christofides & Eilon, 1972)(Anexo A). Para os quais, já são conhecidas as soluções ótimas (*Discrete and Combinatorial Optimization*, n.d.):

Tabela 12 - Problemas e soluções ótimas

Problema	Solução	Avaliação
Att48:	1 8 38 31 44 18 7 28 6 37 19 27 17 43 30 36 46 33 20 47 21 32 39 48 5 42 24 10 45 35 4 26 2 29 34 41 16 22 3 23 14 25 13 11 12 15 40 9	33522
Pr76:	1 76 75 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 74 15 16 17 18 37 36 38 39 40 34 35 33 32 29 30 31 19 20 26 27 28 43 42 54 53 52 55 56 57 58 59 60 41 61 62 63 64 73 72 71 65 66 51 49 50 67 70 68 69 47 48 44 45 46 24 25 21 22 23	108159
Eil51:	1 22 8 26 31 28 3 36 35 20 2 29 21 16 50 34 30 9 49 10 39 33 45 15 44 42 40 19 41 13 25 14 24 43 7 23 48 6 27 51 46 12 47 18 4 17 37 5 38 11 32	426
Eil76:	1 33 63 16 3 44 32 9 39 72 58 10 31 55 25 50 18 24 49 23 56 41 43 42 64 22 61 21 47 36 69 71 60 70 20 37 5 15 57 13 54 19 14 59 66 65 38 11 53 7 35 8 46 34 52 27 45 29 48 30 4 75 76 67 26 12 40 17 51 6 68 2 74 28 62 73	538

3.3.4. Plano Fatorial

Pretendendo-se compreender o peso de cada parâmetro na prestação do DPSO na resolução dos problemas propostos, bem como a interação de parâmetros entre si, ao optar-se por um plano de experiências fatorial pretende-se, com o custo igual ou inferior a um plano de experiências de um parâmetro de cada vez:

- Avalizar a contribuição de vários fatores de controlo ao mesmo tempo;
- Identificar quais os parâmetros da meta-heurística que se iriam assumir como fatores importantes na prestação do DPSO, e quais os que poderão ser classificados como não importantes;
- Para além de ser possível analisar a contribuição de cada um dos parâmetros, é bem possível, com o mesmo custo avaliar a contribuição das interações entre parâmetros e identificar as relações entre estes;

- Diluir no custo de cada experiência, a parametrização inicial do DPSO e começar a identificar para que valores cada um dos parâmetros deriva para a melhoria da prestação do algoritmo, ao definir dois níveis distintos para cada parâmetro.

Com o primeiro nível (+1) definido pela bibliografia e nas corridas iniciais do algoritmo (3.3.2) e o segundo (-1) a assumir metade desses valores, planeou-se uma experiência inicial:

Tabela 13 - Níveis da 1ª experiência fatorial

Níveis	Problema	População	Inércia	Cognitivo	Social	Iterações sem melhoria
-1	Att48	25	1	1	1	1000
+1	Eil51	50	2	2	2	2000

Definindo-se o DPSO como o modelo do DOE, o objetivo delineado como a obtenção do menor custo para cada um dos problemas e os níveis do plano fatorial escolhidos, resta apenas definir a resolução do plano fatorial a ser utilizado.

Considerando que no plano existem 6 fatores, o plano fatorial completo da experiência consiste em 64 corridas (ANEXO B), para uma questão de otimização de tempo utilizado decidiu-se considerar utilizar um plano fatorial fracionado. A resolução de um plano de experiências entende-se como a diluição da contribuição dos fatores individuais com as contribuições das suas interações, mais bem explanado na Tabela 14. Novamente, tendo em conta o número de fatores, as definições existentes são (Coleman & Gunter, 2014; Montgomery, 2017):

Tabela 14 - Planos fatoriais

Plano fatorial	Número de corridas	Resolução
$2_{III}^{(6-3)}$	8	Fatores individuais confundem-se com interações de 2 fatores
$2_{IV}^{(6-2)}$	16	Fatores individuais confundem-se com interações de 3 fatores Interações de 2 fatores confundem-se com interações de 2 fatores
$2_{VI}^{(6-1)}$	32	Fatores individuais confundem-se com interações de 5 fatores Interações de 2 fatores confundem-se com interações de 4 fatores Interações de 3 fatores confundem-se com interações de 3 fatores
Completo	64	Sem confusão entre fatores com interações ou entre interações

Pretendendo-se evitar a confusão de fatores com as interações mais simples, nomeadamente com as interações de dois e três fatores, os planos $2_{III}^{(6-3)}$ e $2_{IV}^{(6-2)}$ foram descartados à partida, selecionando-se o plano $2_{VI}^{(6-1)}$ (ANEXO C) como plano fatorial fracionado do DOE a executar, que definiu as corridas do DPSO com os parâmetros indicados na Tabela 15.

Tabela 15 - Corridas iniciais do DPSO

Corrida	Problema	População	Inércia	Cognitivo	Social	Iterações sem melhoria
---------	----------	-----------	---------	-----------	--------	------------------------

1	att48	25	1	1	1	1000
2	eil51	25	1	1	1	2000
3	att48	50	1	1	1	2000
4	eil51	50	1	1	1	1000
5	att48	25	2	1	1	2000
6	eil51	25	2	1	1	1000
7	att48	50	2	1	1	1000
8	eil51	50	2	1	1	2000
9	att48	25	1	2	1	2000
10	eil51	25	1	2	1	1000
11	att48	50	1	2	1	1000
12	eil51	50	1	2	1	2000
13	att48	25	2	2	1	1000
14	eil51	25	2	2	1	2000
15	att48	50	2	2	1	2000
16	eil51	50	2	2	1	1000
17	att48	25	1	1	2	2000
18	eil51	25	1	1	2	1000
19	att48	50	1	1	2	1000
20	eil51	50	1	1	2	2000
21	att48	25	2	1	2	1000
22	eil51	25	2	1	2	2000
23	att48	50	2	1	2	2000
24	eil51	50	2	1	2	1000
25	att48	25	1	2	2	1000
26	eil51	25	1	2	2	2000
27	att48	50	1	2	2	2000
28	eil51	50	1	2	2	1000
29	att48	25	2	2	2	2000
30	eil51	25	2	2	2	1000
31	att48	50	2	2	2	1000
32	eil51	50	2	2	2	2000

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo vão ser apresentados os resultados das diferentes corridas do DOE, bem como as decisões subsequentes no DOE sobre os resultados devolvidos.

Antes de se poder analisar e comparar os resultados das diferentes réplicas, das diferentes corridas, das diferentes experiências, é necessário encontrar uma métrica que representasse a qualidade de cada solução encontrada. Quando as soluções comparadas originam da mesma instância de um problema, o valor da avaliação da corrida seria a melhor métrica. Mas, neste trabalho os problemas utilizados são todos diferentes. Então decidiu-se que a melhor métrica para a comparação da qualidade de cada solução é o desvio relativo do ótimo da instância do problema. Optando-se pela prática comum de encontrar o erro percentual médio sobre todos os problemas por forma a atribuir igual peso a cada problema (Hansen et al., 2003).

4.1. Apresentação de Resultados da Primeira Experiência

Para análise e interpretação dos resultados devolvidos, recorreu-se a tabelas de análise ANOVA (Montgomery, 2017; Wheeler, 1990) criadas no Microsoft Excel, para tal replicou-se duas vezes cada uma das corridas prevista na Tabela 15, que devolveu os resultados constantes no Apêndice A e B.

Cujos efeitos verificados estão resumidos na Tabela 16.

Tabela 16 - Efeitos e ANOVA da 1ª Experiência

Fonte de Variação		Média dos Níveis -1	Média dos Níveis +1	Efeito	Somatório dos Quadrados	Graus de Liberdade	Variância	Teste F	Confiança
BCDEF	A	80,53%	72,65%	7,88%	0,0994	1	0,0994	4,9059	0,9660
ACDEF	B	84,37%	68,80%	15,57%	0,3877	1	0,3877	19,1333	0,9999
CDEF	AB	76,73%	76,44%	0,29%	0,0001	1	0,0001	0,0068	0,0651
ABDEF	C	80,53%	72,65%	7,88%	0,1441	1	0,1441	7,1104	0,9881
BDEF	AC	81,33%	71,84%	9,49%	0,0968	1	0,0968	4,7771	0,9637
ADEF	BC	84,37%	68,80%	15,57%	0,0025	1	0,0025	0,1217	0,2706
DEF	ABC	78,09%	75,09%	3,00%	0,0144	1	0,0144	0,7098	0,5942
ABCEF	D	80,53%	72,65%	7,88%	0,4829	1	0,4829	23,8308	1,0000
BCEF	AD	84,37%	68,80%	15,57%	0,0101	1	0,0101	0,4978	0,5144
ACEF	BD	80,53%	72,65%	7,88%	0,0226	1	0,0226	1,1149	0,7011
CEF	ABD	85,27%	67,90%	17,37%	0,0257	1	0,0257	1,2678	0,7314
ABEF	CD	80,53%	72,65%	7,88%	0,0241	1	0,0241	1,1898	0,7165
BEF	ACD	81,33%	71,84%	9,49%	0,0111	1	0,0111	0,5482	0,5355
AEF	BCD	84,37%	68,80%	15,57%	0,0002	1	0,0002	0,0091	0,0755
EF	ABCD	74,53%	78,64%	4,11%	0,0270	1	0,0270	1,3308	0,7428
ABCDF	E	80,53%	72,65%	7,88%	0,3557	1	0,3557	17,5548	0,9998
BCDF	AE	84,37%	68,80%	15,57%	0,0001	1	0,0001	0,0073	0,0674
ACDF	BE	80,53%	72,65%	7,88%	0,0051	1	0,0051	0,2535	0,3820

CDF	ABE	81,33%	71,84%	9,49%	0,0006	1	0,0006	0,0288	0,1336
ABDF	CE	80,53%	72,65%	7,88%	0,0012	1	0,0012	0,0610	0,1935
BDF	ACE	84,37%	68,80%	15,57%	0,0292	1	0,0292	1,4401	0,7611
ADF	BCE	80,53%	72,65%	7,88%	0,0012	1	0,0012	0,0596	0,1912
DF	ABCE	69,13%	84,04%	14,91%	0,0349	1	0,0349	1,7207	0,8011
ABCF	DE	80,53%	72,65%	7,88%	0,1272	1	0,1272	6,2761	0,9825
BCF	ADE	84,37%	68,80%	15,57%	0,0126	1	0,0126	0,6220	0,5639
ACF	BDE	80,53%	72,65%	7,88%	0,0241	1	0,0241	1,1903	0,7166
CF	ABDE	85,27%	67,90%	17,37%	0,1048	1	0,1048	5,1719	0,9702
ABF	CDE	80,53%	72,65%	7,88%	0,0957	1	0,0957	4,7228	0,9627
BF	ACDE	81,33%	71,84%	9,49%	0,0182	1	0,0182	0,8978	0,6495
AF	BCDE	84,37%	68,80%	15,57%	0,0107	1	0,0107	0,5263	0,5266
F	ABCDE	78,02%	75,16%	2,86%	0,0131	1	0,0131	0,6461	0,5726
Erro					0,6485	32	0,0203		
Total					2,8316	63			

Que para melhor representação e simplicidade de análise, os efeitos estão legendados na Tabela 17.

Tabela 17 - Legenda de Efeitos

A:	Problema
B:	População
C:	Inércia
D:	Cognitivo
E:	Social
F:	Número máximo de iterações sem melhoria

Transpondo os resultados da Tabela 16 nos gráficos da Figura 10 e Figura 11.

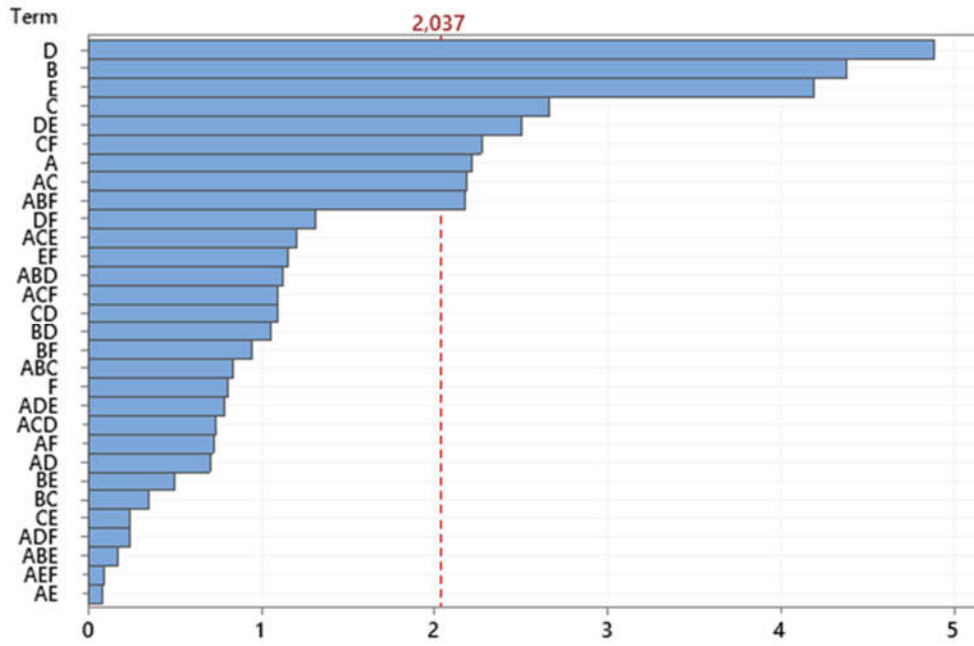


Figura 10 - Diagrama de Pareto de efeitos normalizados e interações da 1ª Experiência

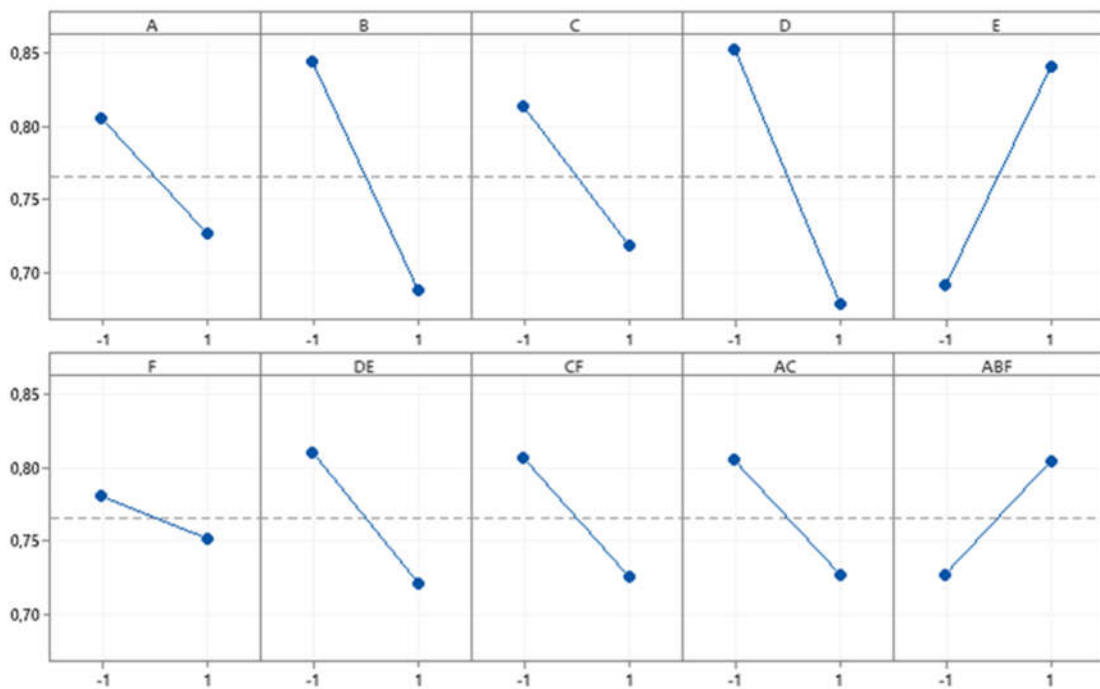


Figura 11 - Gráfico dos principais efeitos de fatores e interações da 1ª Experiência

4.1.1. Análise dos Dados da Primeira Experiência

Após a primeira experiência verificou-se:

- Que todos os fatores, com a exceção do número de iterações máxima sem melhoria (F), fazem sentir o seu efeito com uma confiança superior a 95%. Com especial destaque aos fatores dos parâmetros peso da componente cognitiva (D), tamanho do enxame (B) e peso da componente social (E), que são os que mais contribuem para a variação da prestação da meta-heurística, todos com uma confiança muito próxima dos 100%;

Respeitante a efeitos de interações entre fatores (relembra-se que o plano fatorial fracionado tem uma resolução de VI, que significa que os fatores individualmente se confundem com interações de 5 fatores, interações de dois fatores se confundem com interações de quatro fatores e interações de três fatores com outras interações de três fatores):

- A interação entre o peso da componente cognitiva (D) e o peso da componente social (E) - ou a interação entre o problema (A), tamanho do enxame (B), peso da componente de inércia (C) e número máximo de iterações sem melhoria (F), com o efeito a sentir-se com uma confiança superior a 98%;
- A interação do peso da componente de inércia (C) com número máximo de iterações sem melhoria (F) - ou a interação entre o problema (A), tamanho do enxame (B), o peso da componente cognitiva (D) e peso da componente social (E), com o efeito a sentir-se com uma confiança superior a 97%;
- E o efeito da interação entre o problema (A) com o peso da componente de inércia (C) com uma confiança superior a 96% - ou a interação entre o tamanho da população do enxame (B), o peso da componente cognitiva (D), peso da componente social (E) e número máximo de iterações sem melhoria (F);

Com estes dados, já é possível verificar que não existe um fator, ou fatores, cujo efeito se faça sentir claramente mais na prestação do DPSO. Adicionalmente, verifica-se que existem interações entre fatores cujo efeito se faz sentir significativamente na prestação da meta-heurística, nomeadamente as anteriormente enunciadas e ainda:

- A interação entre o peso da componente de inércia (C), o peso da componente cognitiva (D) e o peso da componente social (E) com o efeito a fazer-se sentir com uma confiança superior a 96%;
- Ou então, a interação entre o problema (A), tamanho do enxame (B) e número máximo de iterações sem melhoria (F), que se confunde com a interação anterior;

Escrutinando os valores dos Apêndices A e B, verifica-se que às melhores prestações (menores desvios registados do ótimo conhecido) estão associados maior número de prestações e maiores tempos de computação, que podem ser resumidos na Tabela 18.

Tabela 18 - Melhores prestações da 1ª Experiência

Problema	População	Inércia	Cognitiva	Social	Iterações sem melhoria	Total de iterações	Tempo de Computação ^a	Desvio
Eil51	50	2	2	1	1000	212200	02:19	34,74%
Att48	50	2	2	1	2000	137550	00:55	39,57%
Eil51	25	2	2	1	2000	181500	02:04	41,31%

Att48	50	2	2	1	2000	208100	01:49	42,26%
Eil51	50	2	2	2	2000	178900	02:21	45,07%
Eil51	50	2	1	1	2000	177300	1:12	47,42%

^a Processador: Intel(R) Core(TM) i7-9750H CPU @ 2.60GHz 2.59 GHz/ RAM instalada: 12,0 GB (11,9 GB utilizável)

4.1.2. Revisão da Primeira Experiência

Analisando, sumariamente, a amostra dos resultados com as melhores prestações, verifica-se que os limites superiores dos fatores da população, peso da componente da inércia, peso da componente cognitiva e número máximo de iterações sem melhoria são os que devolvem melhores prestações. Já o limite inferior do peso da componente social são os que apresentam melhores resultados na prestação do DPSO, com particular eficiência no problema eil51, mas, no entanto, é no problema att48 que se regista a melhor robustez entre réplicas.

No entanto, com diluição do peso dos efeitos da interação entre o peso da componente de inércia (C), o peso da componente cognitiva (D) e o peso da componente cognitiva (D), e a interação entre o problema (A), tamanho do enxame (B) e número máximo de iterações sem melhoria (F); obriga a repensar a direção do DOE.

Relembra-se que o plano inicial seria:

- Identificar os fatores cujo efeito sobre a sua variação se fizessem sentir com mais peso na prestação do DPSO, que no final da primeira experiência são todos os fatores individuais (A, B, C, D e E) com a exceção do número máximo de iterações sem melhoria (F), para depois os incrementar com variações menores nos que mais peso tivessem;
- Identificar quais as interações entre fatores que igualmente apresentavam maior peso;
- Quando se verificasse a diluição de fatores individuais com interações ou entre interações, assumir-se-ia que o peso seria do fator individual ou da interação que se apresentasse com menos fatores:

No entanto, com diluição do peso com um nível de confiança superior a 96% dos efeitos da interação entre o peso da componente de inércia (C), o peso da componente cognitiva (D) e o peso da componente cognitiva (D), e a interação entre o problema (A), tamanho do enxame (B) e número máximo de iterações sem melhoria (F); obriga a repensar a direção do DOE.

4.2. Plano Fatorial Completo (Segunda Experiência)

Mantendo a intenção demonstrada no capítulo 3.3.4, de utilizar planos fatoriais (agora completo), com duas réplicas, mesmos problemas e mesmos valores para os níveis da Tabela 13, definiram-se novas corridas para o DPSO, que são as da Tabela 19 e Apêndice C.

Tabela 19 - Corridas Parciais do DPSO da 2ª Experiência (Tabela completa no Apêndice C)

Corrida	Problema	População	Inércia	Cognitivo	Social	Iterações sem melhoria
1	att48	25	1	1	1	1000

2	eil51	25	1	1	1	1000
3	att48	50	1	1	1	1000
...
62	eil51	25	2	2	2	2000
63	att48	50	2	2	2	2000
64	eil51	50	2	2	2	2000

Cujos resultados podem ser consultados nos Apêndices D, E, F e G. E respectiva tabela de efeitos e análise ANOVA da Tabela 20.

Tabela 20 - Efeitos e ANOVA da 2ª Experiência (Tabela completa no Apêndice H)

Fonte de Variação	Média dos Níveis		Efeito	Somatório dos Quadrados	Graus de Liberdade	Variância	Teste F	Confiança
	-1	+1						
A	83,89%	78,46%	5,43%	0,0942	1	0,0942	3,7501	0,9428
B	80,82%	81,53%	0,71%	0,1669	1	0,1669	6,6422	0,9877
...
C	80,38%	81,96%	1,58%	0,1335	1	0,1335	5,3106	0,9755
...
D	80,38%	81,96%	1,58%	0,9031	1	0,9031	35,9340	1,0000
...
BD	80,38%	81,96%	1,58%	0,1251	1	0,1251	4,9794	0,9708
...
E	80,38%	81,96%	1,58%	0,7076	1	0,7076	28,1539	1,0000
...
F	80,38%	81,96%	1,58%	0,0066	1	0,0066	0,2625	0,3898
...
ABDEF	84,53%	77,81%	6,72%	0,1445	1	0,1445	5,7494	0,9806
...
ABCDEF	80,44%	81,91%	1,47%	0,0228	1	0,0228	0,9083	0,6559
Erro				1,6084	64	0,0251		
Total				4,9158	127			

Que para melhor representação e simplicidade de análise, os efeitos estão legendados na Tabela 17. Transpondo os resultados do Apêndice H num diagrama de Pareto (Figura 12) e gráfico dos principais efeitos e interações (Figura 13).

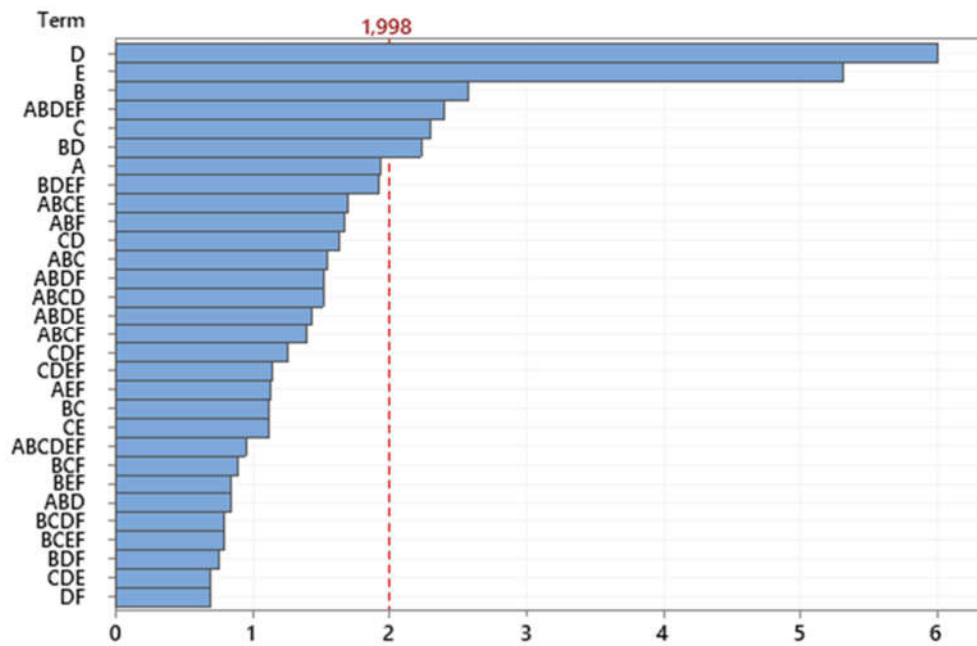


Figura 12 - Diagrama de Pareto de efeitos normalizados e interações da 2ª Experiência

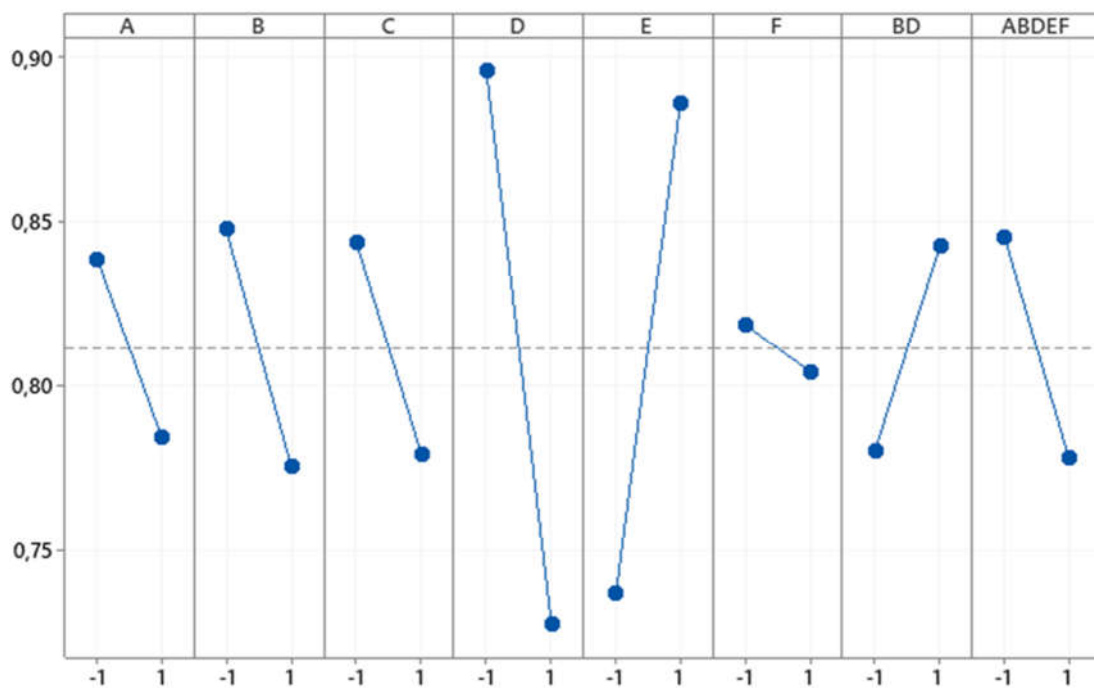


Figura 13 - Gráfico dos principais efeitos de fatores e interações da 2ª Experiência

4.2.1. Análise dos Dados da Segunda Experiência

Após a segunda experiência verificou-se:

- Muito à semelhança da primeira experiência (4.1), a maioria todos os fatores, com a exceção do número de iterações máxima sem melhoria (F), e agora o problema (A), fazem sentir o seu efeito com uma confiança superior a 95%. Embora o fator do problema (A) esteja muito lá perto (94%).
- Dos fatores que se aproximam muito dos 100%, apenas o tamanho do enxame (B) se destaca como o que mais contribui para a variação da prestação da meta-heurística;

Respeitante a efeitos de interações entre fatores, e agora com a resolução total em que não temos interações a confundirem-se entre si ou com fatores individuais:

- A interação entre o tamanho do enxame (B) e o peso da componente cognitiva (D), com o efeito a sentir-se com uma confiança superior a 97%;

Uma valiosa contribuição da segunda experiência, foi a possibilidade de concluir, contrariando a assunção inicial, que interações de entre cinco fatores não podem ser desconsideradas. Na experiência anterior, foi atribuído ao fator individual do peso da componente da inércia (C) um valor da confiança superior a 98%, e a interação com a que este fator se confundia (A, B, D, E e F) não seria considerada. Mas com o plano fatorial completo, verifica-se que a interação com até 5 fatores poderá ter a sua contribuição a fazer-se sentir, como nesta experiência demonstrado:

- A interação entre o problema (A), o tamanho do enxame (B), o peso da componente cognitiva (D), o peso da componente social (E) e número máximo de iterações sem melhoria (F) com o efeito a sentir-se com uma confiança superior a 98%, ligeiramente superior aos 97% do efeito do peso da componente de inércia (C);

Analisando os valores dos Apêndices D, E, F e G, ao contrário da experiência anterior, desta vez não se verificou que às melhores prestações, já não estão associados os maiores tempos de computação, que podem ser resumidos na Tabela 21.

Tabela 21 - Melhores prestações da 2ª Experiência

Problema	População	Inércia	Cognitiva	Social	Iterações sem melhoria	Total de iterações	Tempo de Computação ^a	Desvio
att48	25	1	2	2	2000	57250	00:18	36,77%
att48	50	1	2	1	2000	216700	01:09	40,16%
att48	25	2	2	1	1000	57800	00:30	42,40%
att48	50	2	2	1	2000	210900	01:52	48,77%
att48	25	1	2	1	1000	67850	00:25	48,99%
eil51	25	2	2	1	1000	55775	00:34	49,30%

^a Processador: Intel(R) Core(TM) i7-9750H CPU @ 2.60GHz 2.59 GHz/ RAM instalada: 12,0 GB (11,9 GB utilizável)

4.2.2. Revisão da Segunda Experiência

Reverendo os resultados com as melhores prestações, verifica-se que o limites que contribuem para as melhores prestações do DPSO são o limite superior do fator do peso da componente cognitiva (C) e o limite inferior do fator do peso da componente social. Nos restantes fatores, não se verifica

a predominância de um nível sobre o outro. Adicionalmente, verifica-se que os tempos de computação mais longos, já não surgem associados às melhores prestações, o que poderá ser indicativo que o DPSO, tal como PSO (Kennedy & Eberhart, 1995), tem a sua prestação dependente de boas soluções iniciais do enxame de partículas. Desta vez, é no problema att48 que se verifica as melhores prestações, sendo que em nenhum problema a robustez do DPSO se faz sentir de forma significativa entre réplicas. Contudo, foi no problema att48, com os parâmetros de cinquenta (50) para o tamanho do enxame, de dois (2) para os pesos das componentes de inércia e cognitiva, de um (1) para o peso da componente social e dois mil como o número máximo de iterações sem melhoria, que se obteve a melhor relação entre eficácia e robustez, com a primeira réplica a obter um desvio de 55,22%, a segunda de 48,77% (a quarta melhor prestação) e uma média de 51,99%.

Mais uma vez, não houve fatores individuais que se distinguissem como os maiores contribuidores para a prestação da meta-heurística, e mesmo os fatores individuais com as contribuições mais modestas, veem o seu contributo significativamente, afetado pelas interações com os outros fatores, como é o caso da interação de cinco fatores A, B, D, E e F.

Com a análise da segunda experiência, compreende-se que efetivamente não vai ocorrer uma predominância de uns fatores sobre os outros, e pode-se começar a derivar para uma conclusão de que todos os parâmetros têm um contributo significativo para a prestação do algoritmo.

4.3. Plano Fatorial Completo com Novos Níveis (Terceira Experiência)

Utilizando o mesmo plano fatorial do capítulo 4.2, mas atribuindo novos valores aos níveis dos fatores, em que os fatores que tiverem a melhor prestação quando assumiram o nível superior ocupam agora o nível inferior e vice-versa, e mantendo a mesma orientação de que os valores inferiores são metade dos valores dos níveis superiores, e desta vez utilizando dois problemas com a mesma dimensão, o pr76 e o eil76, demonstrado na Tabela 22.

Tabela 22 - Níveis da 1ª experiência fatorial

Níveis	Problema	População	Inércia	Cognitivo	Social	Iterações sem melhoria
-1	pr76	50	2	2	0,5	2000
+1	eil73	100	4	4	1	4000

Definiu-se novas corridas para o DPSO, Tabela 23 e Apêndice I.

Tabela 23 - Corridas Parciais do DPSO da 3ª Experiência (Tabela completa no APÊNDICE I)

Corrida	Problema	População	Inércia	Cognitivo	Social	Iterações sem melhoria
1	pr76	50	2	2	0,5	2000
2	eil76	50	2	2	0,5	2000
3	pr76	100	2	2	0,5	2000
...

62	eil76	50	4	4	1	4000
63	pr76	100	4	4	1	4000
64	eil76	100	4	4	1	4000

Cujos resultados podem ser consultados nos Apêndices J, K e L. E respectiva tabela de efeitos e análise ANOVA na Tabela 24.

Tabela 24 - Efeitos e ANOVA da 3ª Experiência (Tabela completa no APÊNDICE M)

Fonte de Variação	Média dos Níveis		Efeito	Somatório dos Quadrados	Graus de Liberdade	Variância	Teste F	Confiança
	-1	+1						
A	163,45%	137,48%	25,97%	2,1584	1	2,1584	24,2076	1,0000
B	149,44%	151,49%	2,06%	0,4477	1	0,4477	5,0206	0,9715
...
C	146,19%	154,74%	8,54%	49,4240	1	49,4240	554,3158	1,0000
AC	153,70%	147,23%	6,47%	0,5382	1	0,5382	6,0362	0,9833
...
D	146,19%	154,74%	8,54%	0,7246	1	0,7246	8,1268	0,9941
...
E	146,19%	154,74%	8,54%	0,0023	1	0,0023	0,0262	0,1282
...
F	146,19%	154,74%	8,54%	0,9422	1	0,9422	10,5673	0,9982
...
ABDF	153,70%	147,23%	6,47%	0,7033	1	0,7033	7,8880	0,9934
...
CEF	146,19%	154,74%	8,54%	1,0247	1	1,0247	11,4921	0,9988
...
ABCDEF	149,65%	151,28%	1,63%	0,0128	1	0,0128	0,1436	0,2940
Erro				5,7064	64	0,0892		
Total				65,4875	127			

Que para melhor representação e simplicidade de análise, os efeitos estão legendados na Tabela 17. Transpondo os resultados do Apêndices M graficamente obtém-se a Figura 14 e Figura 15.

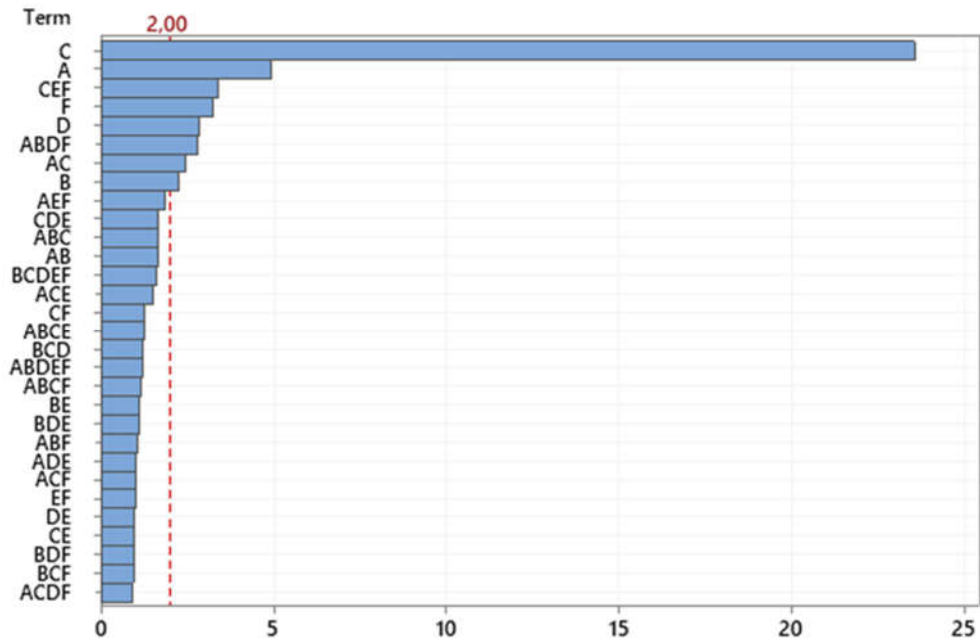


Figura 14 - Diagrama de Pareto de efeitos normalizados e interações da 3ª Experiência

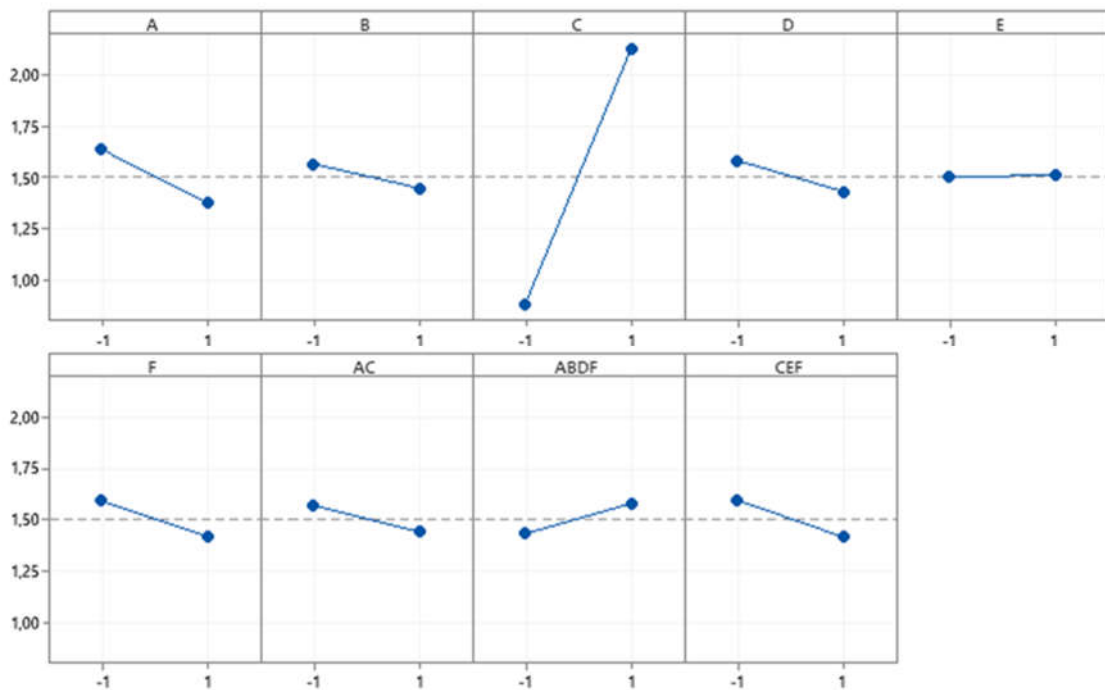


Figura 15 - Gráfico dos principais efeitos de fatores e interações da 3ª Experiência

4.3.1. Análise dos Dados da Terceira Experiência

Na terceira experiência:

- Tal como ocorrei na primeira (4.1.1) e segunda (4.2.1) experiência, os fatores individuais tamanho do enxame (B), o peso da componente da inércia (C) e peso da componente cognitiva (D) fazem sentir o seu efeito com uma confiança superior a 95%, e no caso dos dois últimos, muito próximo de uma confiança de 100%;
- Apesar dos problemas utilizados terem o mesmo número de nós, o peso do fator do problema (A) tem a sua contribuição na prestação do DPSO a fazer-se sentir com uma confiança muito próxima dos 100%;
- Contrariando a tendência das experiências anteriores (4.1.1 e 4.2.1), a contribuição do fator número máximo de iterações sem melhoria (F) apresenta-se com uma confiança também muito próxima de 100%;
- E contribuição do peso da componente social (E) com uma contribuição muito modesta, inferior a 13%, registando-se como o nível de confiança mais baixo num fator individual;

Respeitante a efeitos de interações entre fatores com contribuições a fazerem-se sentir significativamente:

- A interação entre o problema (A) e o peso da componente da inércia (C), com o efeito a sentir-se com uma confiança superior a 98%;
- O problema (A), o tamanho do enxame (B), o peso da componente cognitiva (D) e o número máximo de iterações sem melhoria (F) ao interagirem entre si, contribuem com uma confiança superior a 99%;
- Apesar da sua contribuição individual modesta, o peso da componente social (E), ao interagir juntamente com o peso da componente da inércia (C) e o número máximo de iterações sem melhoria (F), apresentam uma contribuição com uma confiança muito próxima de 100%;

Analisando os valores dos Apêndices J, K e L, verifica-se a mesma observação efetua na experiência anterior (4.2.1) em aos maiores tempos de computação estão associadas as melhores prestações. Estando estas resumidas na Tabela 25.

Tabela 25 - Melhores prestações da 3ª Experiência

Problema	População	Inércia	Cognitiva	Social	Iterações sem melhoria	Total de iterações	Tempo de Computação ^a	Desvio
pr76	100	2	4	1	4000	3552700	02:25:08	31,32%
eil76	100	2	4	1	4000	2773900	01:31:52	36,25%
pr76	100	2	4	1	4000	3259600	02:04:38	36,39%
eil76	50	2	4	1	2000	376600	13:34	41,45%
eil76	100	2	4	1	2000	2256900	01:28:51	41,64%
eil76	50	2	4	1	4000	1351950	48:56	42,57%

^a Processador: Intel(R) Core(TM) i7-9750H CPU @ 2.60GHz 2.59 GHz/ RAM instalada: 12,0 GB (11,9 GB utilizável)

4.3.2. Revisão da Terceira Experiência

Apesar da maior complexidade que os problemas utilizados (pr76 e eil76) apresentam, o DPSO apresenta a sua melhor prestação entre as três experiências realizadas, 31,32% de desvio do ótimo.

Entre as melhores prestações, é clara a predominância do nível superior do peso da componente cognitiva, com o valor de quatro (4), e níveis inferiores dos pesos das componentes da inércia e social, com os valores de dois (2) e um (1), respetivamente.

Predominante também, são os níveis superiores dos fatores do tamanho do enxame, com o valor de 100, e tal como já se tornou evidente ao longo das experiências anteriores, do número máximo de iterações sem melhoria, com o valor de 4000. Apesar da predominância não ser tão evidente como nos fatores mencionados no paragrafo anterior, considerando o menor tempo de computação e assumindo a conclusão efetuada no subcapítulo 4.2.2, poderá propor-se a hipótese de que as prestações obtidas são consequência de boas soluções iniciais e não dos valores dos parâmetros.

Outro facto a ter em consideração, é a divergência da contribuição registada pelos fatores individuais do peso da componente social (E) e do número máximo de iterações sem melhoria (F). Nas duas primeiras experiências (4.1.1 e 4.2.1) a contribuição do fator do peso da componente social (E) fazia-se sentir sempre com uma confiança acima dos 95% e o a contribuição do número máximo de iterações sem melhoria (F) apresentava-se bastante modesta. Esta tendência é invertida com extremos ainda mais afastados na terceira experiência (4.3.1), o que leva à ponderação de desconsiderar as assunções do plano inicial, de identificar quais os parâmetros que mais contribuem para a prestação do DPSO, pois o facto de um, ou mais fatores se fazerem sentir com uma elevada confiança para determinados valores de parâmetros não significa que essa contribuição se vá manter significativa perante a alterações dos valores de outros parâmetros com o quais vão interagir.

Conclusão corroborada pela observação de que as interações entre fatores com maior impacto na prestação do DPSO ao longo das três últimas experiências foram sempre diferentes, pelo menos em níveis com confiança superiores a 95%.

Observando o valor do peso do fator individual do Problema (A) na terceira experiência, muito próximo de 100%, e o maior registado nas três experiências, torna-se claro a necessidade de classificar os problemas além do número de nós que estes apresentam, tornando-se evidente que as características de cada problema tornar-se-ão fatores de ruído para o DPSO, e por consequência terão de ser minimizados e/ou devidamente monitorizados.

4.4. Plano com Recurso a Matriz Ortogonal Taguchi

Para então tentar compreender o potencial subjacente ao DPSO, nas experiências seguintes vai-se tentar minimizar o fator de ruído das características de cada problema. Assim, selecionou-se apenas um dos problemas até agora utilizados nas experiências anteriores, o att48 proposto por Padberg e Rinaldi (Padberg & Rinaldi, 1991). E, considerando que o peso de cada parâmetro não é sempre o mesmo, e vai variando com a variação dos valores atribuídos aos parâmetros, já não se torna necessário apresentar os resultados de cada experiência para análise dos efeitos. Pretende-

se é encontrar a parametrização que leva o DPSO a encontrar boas soluções para a resolução do att48.

Para tal, a quarta experiência vai fazer recurso a tabelas ortogonais Taguchi (Cimbala, 2014), com bons resultados em parametrizações de meta-heurísticas (André Santos, 2020; Sequeiros et al., 2022), para cinco parâmetros com e três níveis cada um:

Tabela 26 - Matriz ortogonal Taguchi L18

Corrida	Parâmetro 1	Parâmetro 2	Parâmetro 3	Parâmetro 4	Parâmetro 5
1	- 1	- 1	- 1	- 1	- 1
2	- 1	0	0	0	0
3	- 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1
4	0	- 1	- 1	0	0
5	0	0	0	+ 1	+ 1
6	0	+ 1	+ 1	- 1	- 1
7	+ 1	- 1	0	- 1	+ 1
8	+ 1	0	+ 1	0	- 1
9	+ 1	+ 1	- 1	+ 1	0
10	- 1	- 1	+ 1	+ 1	0
11	- 1	0	- 1	- 1	+ 1
12	- 1	+ 1	0	0	- 1
13	0	- 1	0	+ 1	- 1
14	0	0	+ 1	- 1	0
15	0	+ 1	- 1	0	+ 1
16	+ 1	- 1	+ 1	0	+ 1
17	+ 1	0	- 1	+ 1	- 1
18	+ 1	+ 1	0	- 1	0

Em que o nível médio parte do mesmo ponto proposto por M. Jiang (Jiang et al., 2007) e N. André (André, n.d.), e com as devidas adaptações propostas no subcapítulo 3.3.2, em que a soma dos parâmetros deverá igualar seis (6). E os níveis superiores e inferiores irão variar em metade (ou 50%) do valor do nível mediano, ou seja, para um parâmetro cujo valor médio é dois (2), o seu nível inferior será metade desse valor, um (1), e o superior irá incrementar na mesma medida para três (3). O que poderá ser mais explícito na Tabela 27.

Tabela 27 - Valores dos níveis com variação de 50%

Níveis	População	Inércia	Cognitivo	Social	Iterações sem melhoria
- 1	25	1	1	1	500
0	50	2	2	2	1000

+ 1	75	3	3	3	1500
-----	----	---	---	---	------

Adicionalmente, para reduzir o erro experimental com origem na geração das soluções iniciais, aumentou-se o número de réplicas de cada corrida de dois para três. E, uma vez identificado os valores dos parâmetros com melhor prestação ponderada, estes irão ocupar o nível mediano de uma nova Matriz Ortogonal Taguchi. Quando é o nível médio de um parâmetro que contribui para a melhor prestação ponderada, na matriz subsequente, este vai variar numa gama inferior, com reduções de 10% em 10% (Sequeiros et al., 2022).

4.4.1. Primeira Matriz Ortogonal Taguchi L18 (Quarta Experiência)

Cruzando a Tabela 26 e a Tabela 27, obtém-se a primeira matriz ortogonal Taguchi L18 para a parametrização do DPSO para resolução do att48, demonstrada na Tabela 28.

Tabela 28 - Primeira Matriz ortogonal Taguchi L18 do DPSO para att48

Corrida	População	Inércia	Cognitivo	Social	Iterações sem melhoria
1	25	1	1	1	500
2	25	2	2	2	1000
3	25	3	3	3	1500
4	50	1	1	2	1000
5	50	2	2	3	1500
6	50	3	3	1	500
7	75	1	2	1	1500
8	75	2	3	2	500
9	75	3	1	3	1000
10	25	1	3	3	1000
11	25	2	1	1	1500
12	25	3	2	2	500
13	50	1	2	3	500
14	50	2	3	1	1000
15	50	3	1	2	1500
16	75	1	3	2	1500
17	75	2	1	3	500
18	75	3	2	1	1000

Que originou os resultados que podem ser consultados nos Apêndices N e O, cujos melhores resultados estão sumariados na Tabela 29.

Tabela 29 - Melhores prestações da 4ª Experiência

População	Inércia	Cognitiva	Social	Iterações sem melhoria	Total de iterações	Tempo de Computação ^a	Desvio
50	2	3	1	1000	180350	01:55	11,67%
50	2	3	1	1000	103000	01:20	25,97%
75	2	3	2	500	138825	01:45	26,54%
50	3	1	2	1500	135850	01:33	29,75%
50	3	3	1	500	132100	02:43	37,31%
25	3	2	2	500	48725	00:32	38,90%

^a Processador: Intel(R) Core(TM) i7-9750H CPU @ 2.60GHz 2.59 GHz/ RAM instalada: 12,0 GB (11,9 GB utilizável)

Sendo que os valores que obtiveram a melhor média ponderada, com 26,87%, são: 50, para o tamanho do enxame; dois (2), para o peso da componente da inércia; três (3), para o peso da componente cognitiva; um (1), para o peso da componente social; e 1000, para o número máximo de iterações sem melhoria. Apesar da escolha de valores ser empírica, os resultados da quarta experiência geraram o diagrama de Pareto da Figura 16, cuja legenda está na Tabela 31, e o gráfico de efeitos da Figura 17.

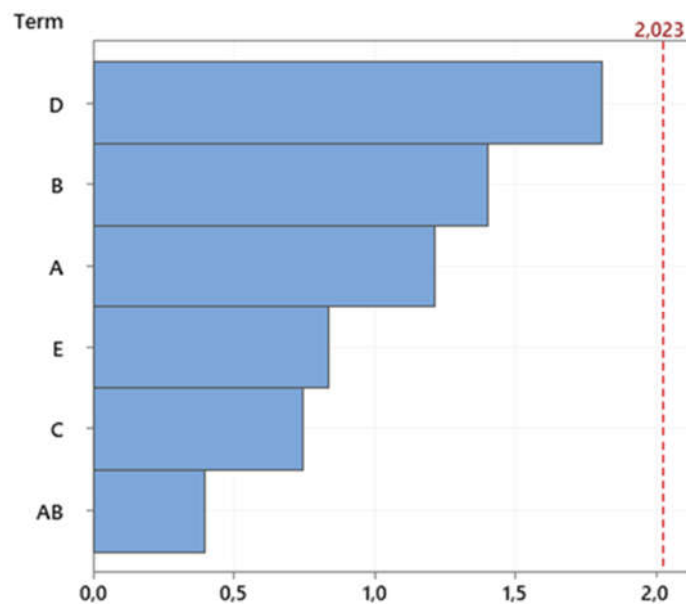


Figura 16 - Diagrama de Pareto de efeitos normalizados e interações da 4ª Experiência

Tabela 30 - Legenda de Efeitos

A:	População
B:	Inércia
C:	Cognitivo
D:	Social
E:	Número máximo de iterações sem melhoria

Relevante referir que nesta experiência, nenhum fator ou interação teve o seu efeito a ser significativo com uma confiança superior a 95%.

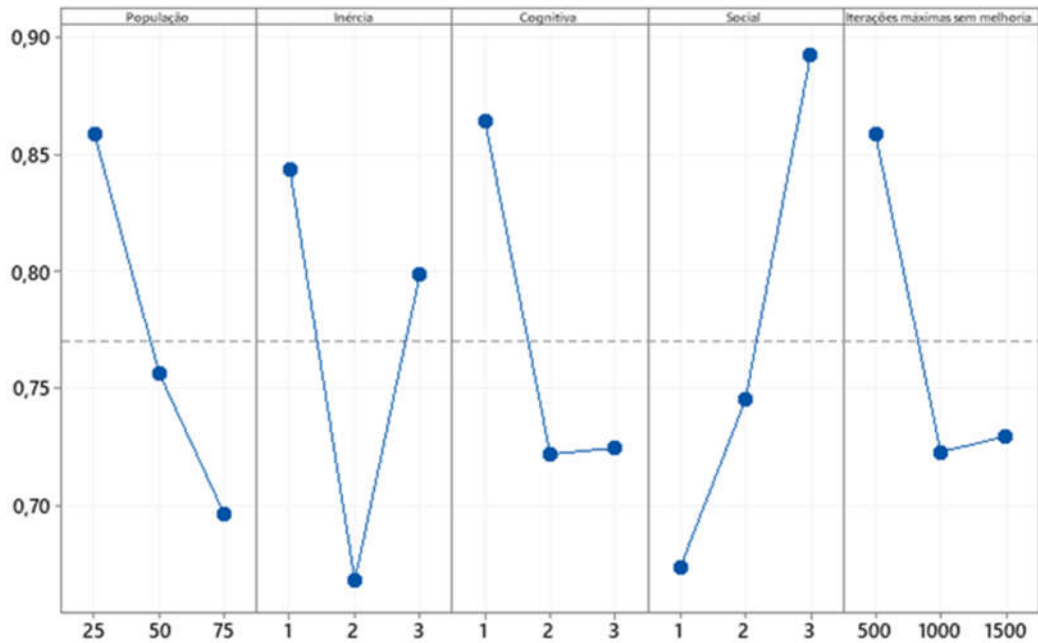


Figura 17 - Gráfico dos principais efeitos de fatores e interações da 4ª Experiência

Seguindo o novo plano experimental (4.4), gera-se novos valores dos níveis para cruzar com a matriz L18, mostrados na Tabela 31.

Tabela 31 - Valores dos níveis para a segunda matriz L18

Níveis	População	Inércia	Cognitivo	Social	Iterações sem melhoria
- 1	30	1,2	1,5	0,5	600
0	50	2	3	1	1000
+ 1	70	2,8	4,5	1,5	1400

4.4.2. 2ª, 3ª, 4ª e 5ª Matriz Ortogonal Taguchi L18

Recursivamente, cruzaram-se as novas tabelas de níveis com a Matriz Ortogonal Taguchi L18, para gerar novas corridas, que identificam os valores com a melhor prestação ponderada, que por sua vez geraram novas tabelas de níveis, resumido nos parágrafos e tabelas seguintes.

Os valores da Tabela 31 foram responsáveis por nova experiência, que pode ser consultada nos Apêndices P e Q, cujos melhores resultados estão na Tabela 32.

Tabela 32 - Melhores prestações da 5ª Experiência

População	Inércia	Cognitiva	Social	Iterações sem melhoria	Total de iterações	Tempo de Computação ^a	Desvio
70	2,8	3	0,5	1000	335930	05:02	11,48%
50	2	4,5	0,5	1000	360500	04:41	12,68%
70	1,2	4,5	1	1400	157570	01:31	15,37%
50	2	4,5	0,5	1000	401600	05:26	16,77%
50	2	3	1,5	1400	97900	00:54	22,20%
50	2	4,5	0,5	1000	232150	03:40	23,21%

^a Processador: Intel(R) Core(TM) i7-9750H CPU @ 2.60GHz 2.59 GHz/ RAM instalada: 12,0 GB (11,9 GB utilizável)

Em que a melhor média ponderada, com 17,55%, deve-se aos valores: 50, para o tamanho do enxame; dois (2), para o peso da componente da inércia; 4,5, para o peso da componente cognitiva; 0,5, para o peso da componente social; e 1000, para o número máximo de iterações sem melhoria. Estes resultados deram origem ao diagrama de Pareto da Figura 18, cuja legenda também é a Tabela 31, e o gráfico de efeitos da Figura 19.

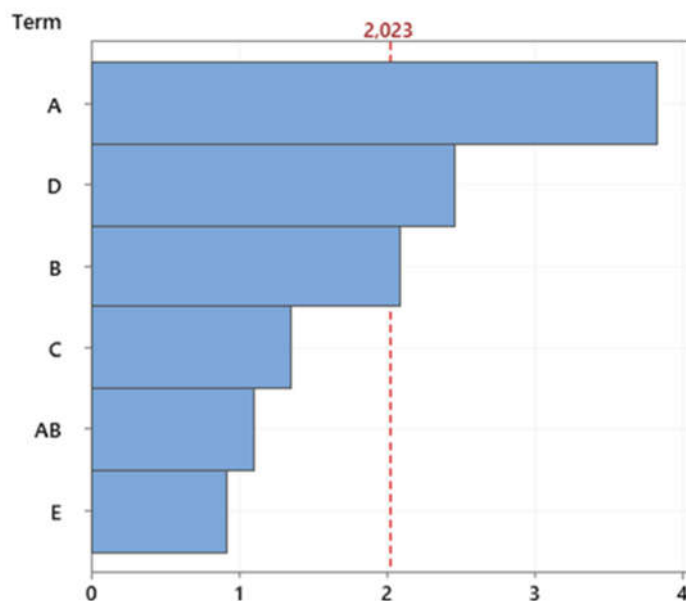


Figura 18 - Diagrama de Pareto de efeitos normalizados e interações da 5ª Experiência

Para os valores dos utilizados, já se começa a sentir confianças superiores a 95%, nomeadamente para o tamanho do enxame (A), para o peso da componente social (D) e para o peso da inércia (B).

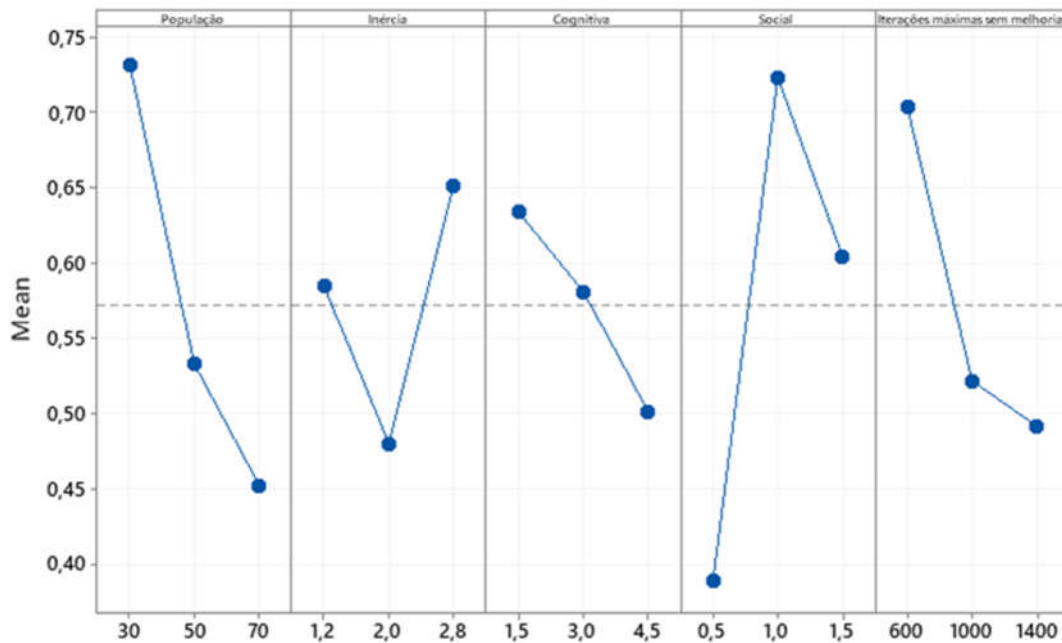


Figura 19 – Gráfico dos principais efeitos de fatores e interações da 5ª Experiência

Os valores referidos deram origem à Tabela 33 de valores de níveis.

Tabela 33 – Valores dos níveis para a terceira matriz L18

Níveis	População	Inércia	Cognitivo	Social	Iterações sem melhoria
- 1	35	1,4	2,25	0,25	700
0	50	2	4,5	0,5	1000
+ 1	65	2,6	6,75	0,75	1300

Cujos resultados que se seguiram encontram-se nos Apêndices R e S, estado os melhores resultado resumidos na Tabela 34.

Tabela 34 – Melhores prestações da 6ª Experiência

População	Inércia	Cognitiva	Social	Iterações sem melhoria	Total de iterações	Tempo de Computação ^a	Desvio
65	1,4	6,75	0,5	1300	312195	04:13	7,56%
35	1,4	6,75	0,75	1000	144025	01:32	8,13%
50	1,4	4,5	0,75	700	103250	00:55	9,02%
65	1,4	6,75	0,5	1300	450710	04:59	9,67%
65	1,4	4,5	0,25	1300	629720	07:09	11,34%
50	2	4,5	0,75	1300	278900	03:23	11,70%

^a Processador: Intel(R) Core(TM) i7-9750H CPU @ 2.60GHz 2.59 GHz/ RAM instalada: 12,0 GB (11,9 GB utilizável)

A melhor média ponderada de 12,89%, pertence aos valores: 65, para o tamanho do enxame; 1,4, para o peso da componente da inércia; 6,75, para o peso da componente cognitiva; 0,5, para o peso da componente social; e 1300, para o número máximo de iterações sem melhoria. E os resultados contribuíram para a o diagrama de Pareto da Figura 20, cuja legenda está na Tabela 31, e o gráfico de efeitos da Figura 21.

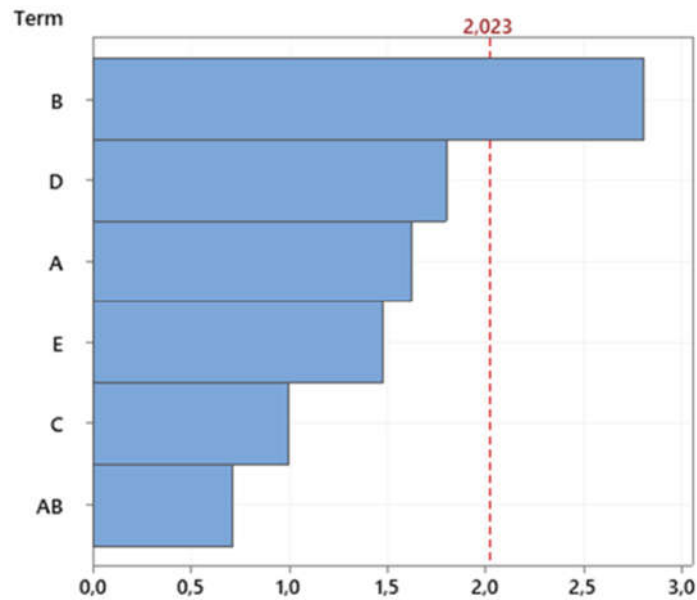


Figura 20 - Diagrama de Pareto de efeitos normalizados e interações da 6ª Experiência

Com os valores para os parâmetros desta experiência, só o peso da inércia (B) vê o seu efeito a sentir-se com mais de 95% de confiança.

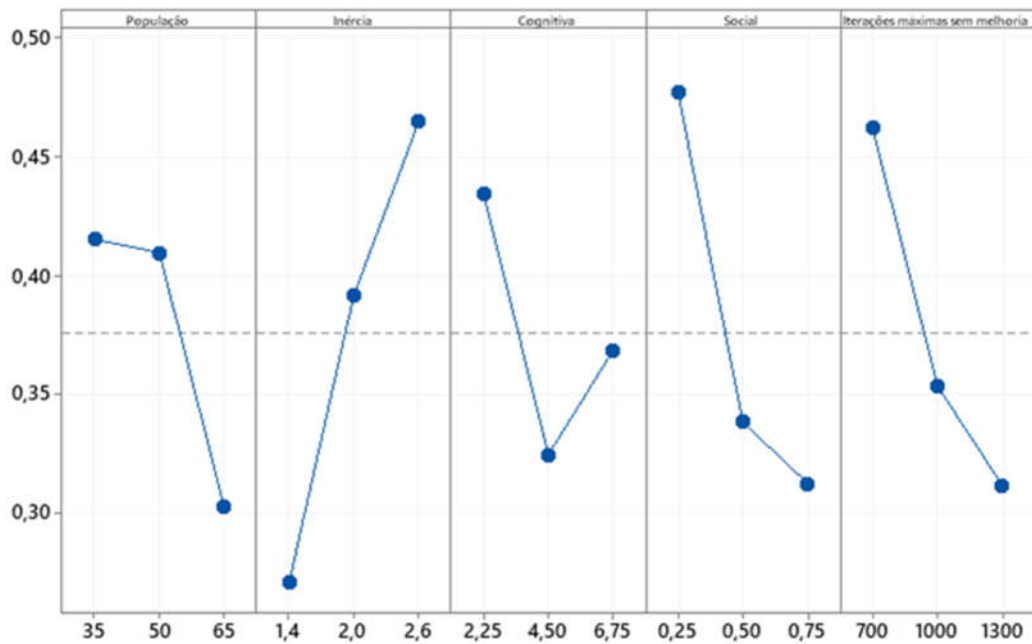


Figura 21 - Gráfico dos principais efeitos de fatores e interações da 6ª Experiência

Os valores da melhor média ponderadas serviram de nível mediano para a Tabela 35.

Tabela 35 - Valores dos níveis para a quarta matriz L18

Níveis	População	Inércia	Cognitivo	Social	Iterações sem melhoria
- 1	46	0,98	3,375	0,3	910
0	65	1,4	6,75	0,5	1300
+ 1	85	1,82	10,125	0,7	1690

Resultados nos Apêndices T e U, e os melhores na Tabela 36.

Tabela 36 - Melhores prestações da 7ª Experiência

População	Inércia	Cognitiva	Social	Iterações sem melhoria	Total de iterações	Tempo de Computação ^a	Desvio
85	0,98	10,125	0,5	1690	614380	07:16	3,33%
46	0,98	10,125	0,7	1300	180550	01:46	3,56%
85	0,98	6,75	0,3	1690	599930	05:58	3,99%
46	0,98	10,125	0,7	1300	164220	01:44	4,30%
65	1,4	10,125	0,3	1300	747045	747045	4,35%
65	1,4	6,75	0,7	1690	456495	05:23	5,89%

^a Processador: Intel(R) Core(TM) i7-9750H CPU @ 2.60GHz 2.59 GHz/ RAM instalada: 12,0 GB (11,9 GB utilizável)

Em que a melhor média ponderada, com 4,80%, deve-se aos valores: 46, para o tamanho do enxame; 0,98, para o peso da componente da inércia; 10,125, para o peso da componente cognitiva; 0,7, para o peso da componente social; e 1300, para o número máximo de iterações sem melhoria. Valores que estão na origem do diagrama de Pareto da Figura 22, cuja legenda está na Tabela 31, e do gráfico de efeitos da Figura 23.

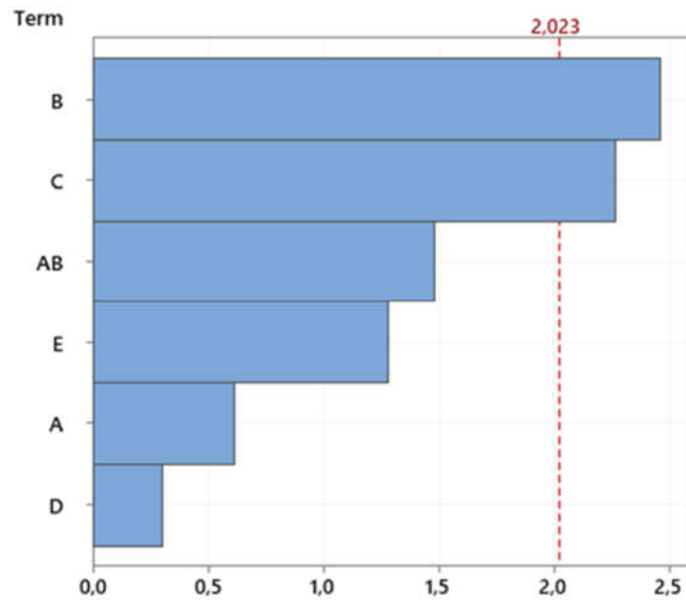


Figura 22 - Diagrama de Pareto de efeitos normalizados e interações da 7ª Experiência

Nesta experiência verifica-se a tendência decrescente do efeito do tamanho do enxame (A) e o aumento da contribuição do peso da componente cognitiva (C), que agora vê o seu efeito a sentir-se com uma confiança superior a 95%, juntamente com o peso da inércia (B).

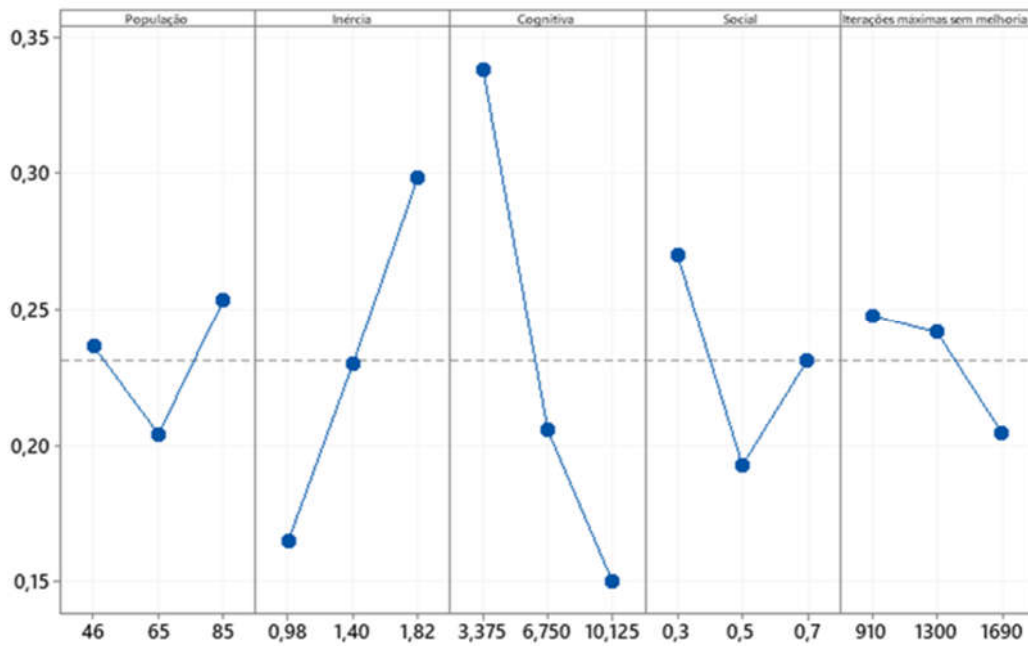


Figura 23 - Gráfico dos principais efeitos de fatores e interações da 7ª Experiência

A experiência anterior deu origem à Tabela 37.

Tabela 37 - Valores dos níveis para a quinta matriz L18

Níveis	População	Inércia	Cognitivo	Social	Iterações sem melhoria
- 1	32	0,686	5,0625	0,42	1040
0	46	0,98	10,125	0,7	1300
+ 1	60	1,274	15,1875	0,98	1560

E os resultados encontram-se nos Apêndices V e W, e os melhores na Tabela 38.

Tabela 38 - Melhores prestações da 8ª Experiência

População	Inércia	Cognitiva	Social	Iterações sem melhoria	Total de iterações	Tempo de Computação ^a	Desvio
60	0,686	10,125	0,42	1560	464580	04:39	2,63%
32	0,98	5,0625	0,42	1560	233312	02:06	8,92%
32	0,686	5,0625	0,42	1040	156864	01:22	9,39%
60	0,686	10,125	0,42	1560	571620	06:36	10,00%
60	0,686	10,125	0,42	1560	497940	05:58	11,10%
46	1,274	5,0625	0,7	1560	256634	03:23	11,68%

^a Processador: Intel(R) Core(TM) i7-9750H CPU @ 2.60GHz 2.59 GHz/ RAM instalada: 12,0 GB (11,9 GB utilizável)

Em que a melhor média ponderada, com 7,91%, deve-se aos valores: 60, para o tamanho do enxame; 0,686, para o peso da componente da inércia; 10,125, para o peso da componente cognitiva; 0,42, para o peso da componente social; e 1560, para o número máximo de iterações sem melhoria. Estes resultados deram origem ao diagrama de Pareto da Figura 24, cuja legenda também é a Tabela 31, e o gráfico de efeitos da Figura 25.

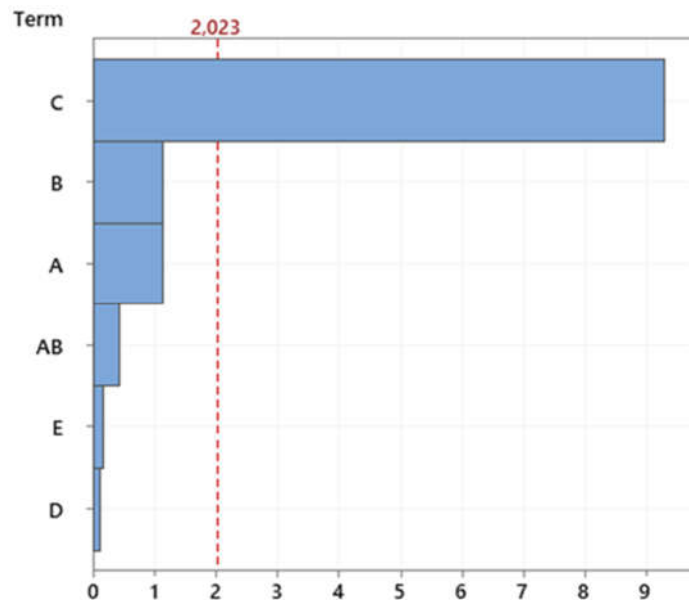


Figura 24 - Diagrama de Pareto de efeitos normalizados e interações da 8ª Experiência

Analisando o diagrama de Pareto e comparando os efeitos do gráfico da Figura 25, verifica-se o aumento bastante significativo do efeito da contribuição do peso da componente cognitiva (C) (e a diminuição dos efeitos dos restantes fatores). Isto poderá ser indicativo que, com a sucessiva escolha do nível superior do fator do peso da componente cognitiva, o distanciamento entre níveis aumenta cada vez mais, fazendo com que o DPSO tenha um comportamento extremo quando utiliza o nível superior do parâmetro.

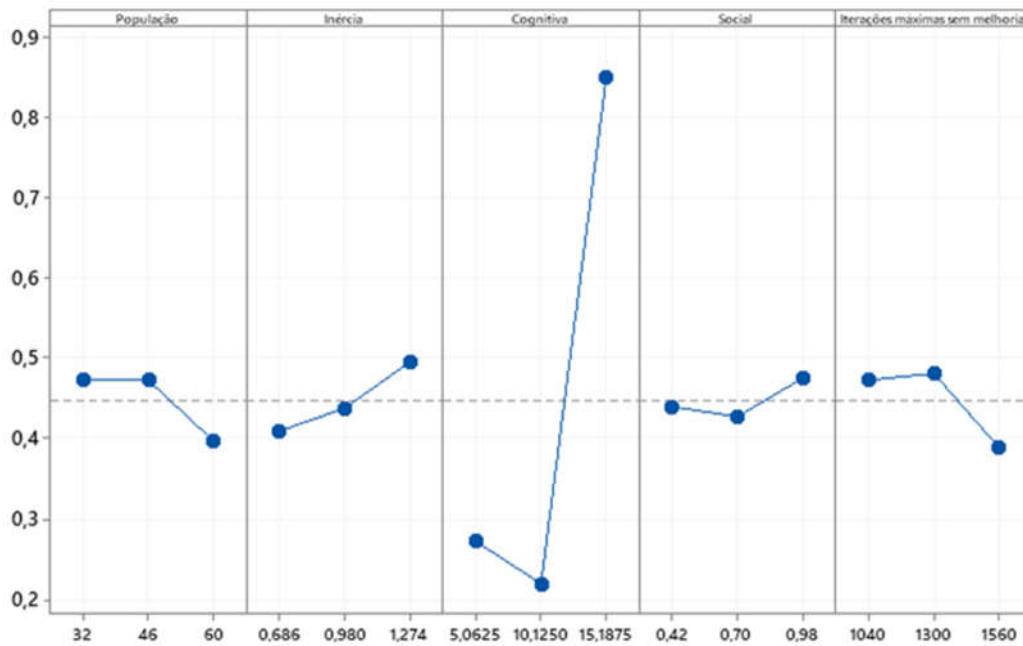


Figura 25 - Gráfico dos principais efeitos de fatores e interações da 8ª Experiência

4.5. Revisão e Discussão do DOE

Reverendo os dados das primeiras experiências, considerando a forte contribuição de todos os fatores individuais no desempenho do DPSO, poder-se-ia já considerar que estar-se-ia perante um erro na conceção do plano de experiências. No entanto, com o a evolução e adaptação do plano, verificou-se que fatores de controlo predominantes numa experiência, podem ver o seu contributo relegado para valores residuais, como é o caso dos parâmetros do peso da componente social (E) e do número máximo de iterações sem melhoria (F), ao longo das três primeiras experiências, que sofrem a inversão do seu contributo na prestação do DPSO.

Todavia, a impossibilidade de categorizar os parâmetros do DPSO pela sua importância com recurso a planos fatoriais, primeiramente fracionado e posteriormente completo, acaba por inviabilizar a utilização de ditos planos na parametrização do DPSO. Apesar de ver a sua viabilidade reduzida na parametrização da meta-heurística, os planos fatoriais usados contribuíram significativamente para identificar a importância de classificar os diferentes problemas além do número de nós que o constituem.

Algo que também foi sendo evidente, com especial incidência nas últimas experiências, foi a frágil robustez que DPSO apresenta na resolução deste tipo de problemas, em que parâmetros responsáveis por um desvio do ótimo de 3,33% também originou desvios de 16,28% e 18,99% (Apêndices T e U), ou configurações que geraram um desvio de 2,63% também criaram desvios de 10,00% e 11,10% do ótimo (Apêndices V e W).

Analisando empiricamente a última experiência, o conjunto de parâmetros que gerou a melhor resultado, são os constantes na Tabela 37.

Tabela 39 - Valores dos parâmetros com a melhor relação de robustez e eficácia

População	Inércia	Cognitivo	Social	Iterações sem melhoria
60	0,686	10,125	0,42	1560

Cujas soluções podem ser consultadas nos Apêndices V e W, e resumidas na Tabela 40.

Tabela 40 - Melhores prestações da 4ª Experiência

Total de iterações	Tempo de Computação ^a	Solução	Desvio	Desvio Ponderado
571620	06:36	17 6 30 36 15 40 9 38 31 44 33 20 47 21 32 39 48 5 42 24 10 45 35 4 26 2 29 34 41 16 8 1 22 3 23 14 25 13 11 12 46 18 7 28 37 19 27 43	10,00%	
497940	05:58	32 24 10 45 35 4 26 2 42 48 5 29 41 34 23 14 25 13 21 47 20 33 36 30 43 17 27 19 37 6 28 7 18 44 31 46 15 40 3 22 16 1 8 9 38 12 11 39	11,10%	7,91%
464580	04:39	38 31 44 36 30 43 17 27 19 37 6 28 7 18 46 33 15 40 12 20 47 21 13 11 23 14 25 39 32 48 5 42 24 10 45 35 4 26 2 29 41 34 3 22 16 1 8 9	2,63%	

^a Processador: Intel(R) Core(TM) i7-9750H CPU @ 2.60GHz 2.59 GHz/ RAM instalada: 12,0 GB (11,9 GB utilizável)

Também Kennedy e Eberhart (Kennedy & Eberhart, 1995) identificaram a importância de boas soluções iniciais na prestação do PSO. No DPSO, essa importância é ainda mais evidente. Considerando o trabalho de Box (Box, 1992), na declaração em que a repetição de corridas, quer pela convicção que o resultado esteve aquém do esperado ou apenas para reduzir o erro experimental, decidiu-se correr o DPSO com os valores da Tabela 39, sem recorrer a matriz ortogonal ou plano fatorial, 54 vezes. Optou-se por 36 réplicas devido às corridas com origem nas matrizes L18 terem um total de 54 corridas, e esperara-se que o tempo de execução seja semelhante.

Os resultados completos podem ser consultados nos Apêndices X e Y, no entanto um resultado em particular destaca-se a solução na Tabela 41.

Tabela 41 - Melhor prestação do DPSO para o att48

Total de iterações	Tempo de Computação ^a	Solução	Avaliação	Desvio
322920	03:07	34 29 2 26 4 35 45 10 24 42 5 48 39 32 21 13 25 14 23 11 47 20 12 15 33 46 36 30 43 17 27 19 37 6 28 7 18 44 31 38 9 8 1 40 3 22 16 41	33619	0,29%

^a Processador: Intel(R) Core(TM) i7-9750H CPU @ 2.60GHz 2.59 GHz/ RAM instalada: 12,0 GB (11,9 GB utilizável)

Além da excelente avaliação de 33619, que representa um desvio de 0,29% do ótimo (33522), obtida pelo DPSO na resolução do att48, dois pontos têm de ser considerados: o elevado desvio padrão de 8,87%; e o baixo tempo de computação para obter o melhor resultado

(comparativamente às restantes réplicas cuja média se situa em 04:34) de 03:07. Ambos corroboram as suposições da importância de boas soluções iniciais e a fraca robustez do DPSO na resolução deste tipo de problemas.

5. CONCLUSÃO

O PSO sendo o algoritmo simples que é, consegue resolver efetivamente uma ampla gama de problemas. Mas quando o mesmo é aplicado a problemas de otimização discreta, como o TSP, necessita de ser adaptado para a correta interpretação e resolução do problema.

5.1. Conclusões finais

Respondendo à questão de investigação, se seria possível utilizar uma meta-heurística com resultados comprovados em problemas contínuos e alterar o seu procedimento para obter os mesmos resultados em problemas discretos? A resposta, não pode ser apresentada assertivamente, com um simples sim ou não. Pelo menos enquanto as limitações que ainda definem o DPSO se mantiverem.

O DPSO, como meta-heurística tem de ser avaliado tendo em conta três critérios:

- Eficácia, definida como sendo a avaliação obtida pela solução de uma corrida;
- Eficiência, apresentada com o tempo necessário para uma meta-heurística alcançar o resultado;
- E robustez, que são os desvios padrão entre resultados da avaliação e tempo necessário para alcançar o resultado

Se avaliar-se o DPSO de forma que: a eficácia é avaliada como quanto mais melhor, a eficiência como um aspeto atrativo da prestação, e considerar-se a robustez como um critério indiferente; a solução constante da Tabela 41 apresenta o DPSO como uma meta-heurística a obter ótimos resultados na resolução de problemas discretos, como é o PSO na resolução de problemas contínuos. Mas a falta de robustez na resolução de problemas TSP do DPSO, não consegue garantir sempre, tão bons resultados.

No entanto, com as alterações propostas, nomeadamente, a adição de um fator de inércia, que é influenciado pela velocidade atual da partícula e a inclusão da probabilidade na contribuição de cada componente cognitiva e social para a atualização da velocidade, em vez do fator aleatório original do PSO. Embora haja espaço para melhorias, o potencial do algoritmo é evidente e, ultrapassadas as limitações observadas ao longo do trabalho, o DPSO não se afirmará apenas como uma meta-heurística que resolve tão bem problemas discretos como o PSO resolve problemas contínuos, mas evidencia que uma meta-heurística que tenha bons resultados na resolução de um determinado tipo de problemas, poderá, com as devidas adaptações, obter ótimos resultados em problemas completamente diferentes.

5.2. Limitações e investigação futura

Como foi constatado ao longo do trabalho aqui desenvolvido, apenas a eficácia, e em alguma medida a robustez desta, foi tida em conta na procura dos valores dos parâmetros do PSO. Para respondermos na plenitude e assertivamente à questão da investigação, a eficiência deveria ter sido tomada em conta. E mesmo assim, algumas limitações e/ou considerações não podem ser

negligenciadas, nomeadamente será necessário a programação na mesma linguagem (VBA) e ambiente (Microsoft Excel) de uma segunda meta-heurística, esta com resultados cientificamente comprovados como o SA ou a Colónia Artificial de Abelhas Discreta (*Discrete Artificial Bee Colony*) (André Santos, 2020), para posterior comparação de eficiência e da respetiva robustez.

No seguimento da premissa da robustez do DPSO, torna-se imperativo a redução do ruído que se acredita que tenha origem nas soluções iniciais. Assim, como desenvolvimento futuro, propõe-se a inclusão parcial de heurísticas, ou outros métodos determinísticos, na criação de soluções iniciais. Sugere-se apenas a inclusão parcial, para manter variedade tal como a componente de mutação proposta por Zong (Zhong et al., 2007)

Ultrapassada a limitação da robustez, sugere-se nova investigação, no mesmo âmbito do DOE aqui aplicado para a verificação das conclusões obtidas no final de cada experiência, para validação das observações e excluir o ruído que a entropia das soluções iniciais acrescenta.

Ainda como mitigação de fatores de ruído, sugere-se a investigação de outras características dos problemas TSP além do número de nós de cada problema. Nomeadamente, dispersão e correlação dos nós, variância e desvio padrão entre coordenadas.

Por fim, propõe-se a codificação do DPSO numa linguagem de programação de nível mais baixo (mais próxima da máquina, tal como o C ou o C++) de forma a melhorar a eficiência e o tempo necessário de cada execução.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- André, N. M. D. S. (n.d.). *Particle swarm optimization*.
- André Santos. (2020). *Auto-Parametrização de Meta-Heurísticas para Problemas de Escalonamento em Ambiente Industrial*. Universidade do minho.
- Ausiello, G., Crescenzi, P., Gambosi, G., Kann, V., Marchetti-Spaccamela, A., & Protasi, M. (2012). *Complexity and approximation: Combinatorial optimization problems and their approximability properties*. Springer Science & Business Media.
- Boussaïd, I., Lepagnot, J., & Siarry, P. (2013). A survey on optimization metaheuristics. *Information Sciences*, 237, 82–117. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2013.02.041>
- Box, G. E. P. (1992). George's column. *Quality Engineering*, 5(2), 321–330. <https://doi.org/10.1080/08982119208918971>
- Box, G. E. P., & Draper, N. R. (2007). *Response surfaces, mixtures, and ridge analyses* (Vol. 649). John Wiley & Sons.
- Choong, F., Phon-Amnuaisuk, S., & Alias, M. Y. (2011). Metaheuristic methods in hybrid flow shop scheduling problem. *Expert Systems with Applications*, 38(9), 10787–10793.
- Christofides, N., & Eilon, S. (1972). Algorithms for large-scale travelling salesman problems. *Journal of the Operational Research Society*, 23(4), 511–518.
- Cimbala, M. J. (2014). Taguchi Orthogonal Arrays. *Instrumentation, Measurements, and Statistics*, September, 4–6. https://www.mne.psu.edu/me345/Lectures/Taguchi_orthogonal_arrays.pdf
- Coleman, D., & Gunter, B. (2014). *A DOE Handbook: A Simple Approach to Basic Statistical Design of Experiments*. Verlag nicht ermittelbar.
- de Jong, J. (2012). *Heuristics in dynamic scheduling*.
- Dean, A., Voss, D., & Draguljić, D. (1999). *Design and analysis of experiments* (Vol. 1). Springer.
- Discrete and Combinatorial Optimization*. (n.d.). Universität Heidelberg. <http://comopt.ifi.uni-heidelberg.de/software/TSPLIB95/>
- Eiben, A. E., & Smit, S. K. (n.d.). *Evolutionary Algorithm Parameters and Methods to Tune Them 2.1 Background and Objectives*. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-21434-9>
- Erik, M., Pedersen, H., & Pedersen, M. E. H. (2010). Good parameters for particle swarm optimization. *Technical Report HL1001, Hvass Laboratories, HL1001*, 1–12. <http://www.hvass-labs.org/people/magnus/publications/pedersen10good-pso.pdf>
- Fan, H. (2010). Discrete particle swarm optimization for TSP based on neighborhood. *Journal of Computational Information Systems*, 6(10), 3407–3414.
- Fernandes, R. (2008). *Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto Simulador de Sistemas de Produção e de Informação Industriais Aplicação a sistema de produção lean*.
- Ghoreishi, S. N., Clausen, A., & Joergensen, B. N. (2017). Termination criteria in evolutionary algorithms: A survey. *IJCCI 2017 - Proceedings of the 9th International Joint Conference on Computational Intelligence, Ijcci*, 373–384. <https://doi.org/10.5220/0006577903730384>
- Giovanni, M. (1983). Response surface methodology and product optimization. *Food Technology*.
- Gunawan, A., Lau, H. C., & Lindawati. (2011). Fine-tuning algorithm parameters using the design of experiments approach. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture*

- Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics*), 6683 LNCS, 278–292. https://doi.org/10.1007/978-3-642-25566-3_21
- Hansen, P., Mladenovi, N., & Brimberg, J. (2003). Handbook of Metaheuristics. In *Handbook of Metaheuristics* (Vol. 57, pp. 61–86). <https://doi.org/10.1007/b101874>
- Henderson, D., Jacobson, S. H., & Johnson, A. W. (2006). The Theory and Practice of Simulated Annealing. In *Handbook of Metaheuristics* (Issue May 2014). https://doi.org/10.1007/0-306-48056-5_10
- Jesus, R. C. (2002). Comparação de Heurísticas para Scheduling utilizando Simulação por Eventos Discretos. *Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2001*, 1–8.
- Jiang, M., Luo, Y. P., & Yang, S. Y. (2007). Stochastic convergence analysis and parameter selection of the standard particle swarm optimization algorithm. *Information Processing Letters*, 102(1), 8–16. <https://doi.org/10.1016/j.ipl.2006.10.005>
- Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). Particle Swarm Optimization Proceedings., IEEE International Conference. *Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks*, 11(1), 111–117. <http://ci.nii.ac.jp/naid/10015518367>
- Khuri, A. I., & Cornell, J. A. (2018). *Response surfaces: designs and analyses*. Routledge.
- Lisboa, J. V., & Gomes, C. F. (2006). Gestão de operações. *Vida Económica*, 159–256.
- MAH, A., Hossain, S. I., & Akter, S. (2016). A Comparative Study of Prominent Particle Swarm Optimization Based Methods to Solve Traveling Salesman Problem. *International Journal of Swarm Intelligence and Evolutionary Computation*, 05(03). <https://doi.org/10.4172/2090-4908.1000139>
- Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments*. John Wiley & sons.
- Myers, R. H., Montgomery, D. C., & Anderson-Cook, C. M. (2016). *Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments*. John Wiley & Sons.
- Nourani, Y., & Andresen, B. (1998). A comparison of simulated annealing cooling strategies. *Journal of Physics A: Mathematical and General*, 31(41), 8373–8385. <https://doi.org/10.1088/0305-4470/31/41/011>
- Padberg, M., & Rinaldi, G. (1991). A branch-and-cut algorithm for the resolution of large-scale symmetric traveling salesman problems. *SIAM Review*, 33(1), 60–100.
- Peker, M., Şen, B., & Kumru, P. Y. (2013). An efficient solving of the traveling salesman problem: The ant colony system having parameters optimized by the Taguchi method. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 21(SUPPL. 1), 2015–2036. <https://doi.org/10.3906/elk-1109-44>
- Pinedo, M. L. (2008). *Schedulling - Theory, Algorithms, and Systems* (Third Edit). Springer.
- Safe, M., Carballido, J., Ponzoni, I., & Brignole, N. (2004). On stopping criteria for genetic algorithms. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 3171, 405–413. https://doi.org/10.1007/978-3-540-28645-5_41
- Sarmady, S. (n.d.). *An Investigation on Genetic Algorithm Parameters*.
- Sequeiros, J. A., Silva, R., Santos, A. S., Bastos, J., Varela, M. L. R., & Madureira, A. M. (2022). A Novel Discrete Particle Swarm Optimization Algorithm for the Travelling Salesman Problems. In J. Machado, F. Soares, J. Trojanowska, & V. Ivanov (Eds.), *Innovations in Industrial Engineering* (pp. 48–55). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78170-5_5

- Shelokar, P. S., Siarry, P., Jayaraman, V. K., & Kulkarni, B. D. (2007). Particle swarm and ant colony algorithms hybridized for improved continuous optimization. *Applied Mathematics and Computation*, *188*(1), 129–142. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2006.09.098>
- Talbi, E.-G. (2009). *Metaheuristics : from design to implementation*. John Wiley & Sons.
- Tasgetiren, M. F., Kizilay, D., Pan, Q.-K., & Suganthan, P. N. (2017). Iterated greedy algorithms for the blocking flowshop scheduling problem with makespan criterion. *Computers & Operations Research*, *77*, 111–126. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.07.002>
- Van Den Bergh, F. (2001). *An analysis of particle swarm optimizers*. November, 315.
- Vining, G. (2011). Technical advice: Design of experiments, response surface methodology, and sequential experimentation. *Quality Engineering*, *23*(2), 217–220. <https://doi.org/10.1080/15226514.2011.555280>
- Wheeler, D. J. (1990). *Understanding industrial experimentation*. SPC Press Knoxville, TN.
- Yates, F. (1964). Sir Ronald Fisher and the design of experiments. *Biometrics*, *20*(2), 307–321.
- Zhong, W. L., Zhang, J., & Chen, W. N. (2007). A novel discrete particle swarm optimization to solve traveling salesman problem. *2007 IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC 2007*, 3283–3287. <https://doi.org/10.1109/CEC.2007.4424894>
- Zhou, A. H., Zhu, L. P., Hu, B., Deng, S., Song, Y., Qiu, H., & Pan, S. (2018). Traveling-salesman-problem algorithm based on simulated annealing and gene-expression programming. *Information (Switzerland)*, *10*(1). <https://doi.org/10.3390/info10010007>

APÊNDICE A

Problema	População	Inércia	Cognitiva	Social	# Iterações sem melhoria	# Iterações	# avaliações	Tempo de computação ^a	Solução	Avaliação	Desvio do ótimo
att48	25	1	1	1	1 000	33 375	209 911	00:00:12	28 6 47 23 48 42 45 32 39 5 2 24 10 35 4 26 29 13 12 40 20 43 27 30 36 33 11 15 18 44 31 38 9 8 1 16 22 3 41 34 14 46 7 17 19 37 21 25	62108	85,28%
						34 925	319 207	00:00:13	47 3 16 34 12 30 37 28 18 21 13 11 40 33 46 44 31 22 41 29 5 48 39 25 23 15 43 17 19 6 36 7 38 9 2 42 10 26 4 35 45 24 32 20 27 1 14	63041	88,06%
eil51	25	1	1	1	2 000	65 425	912 141	00:00:30	39 12 48 8 27 46 25 41 13 47 5 38 9 34 29 11 51 17 42 40 19 15 10 33 45 44 4 14 37 30 50 21 16 2 32 22 3 20 35 36 28 31 26 7 43 24 23 6 18 1 149	730	71,36%
						60 525	368 038	00:00:22	22 3 29 38 51 12 37 4 40 45 33 39 34 5 27 48 16 21 2 20 35 36 8 7 43 31 28 32 11 17 15 30 49 46 47 13 41 19 42 44 10 9 50 1 6 14 25 24 23 26	756	77,46%
att48	50	1	1	1	2 000	131 750	604 467	00:00:42	18 36 46 15 47 43 17 27 19 6 28 20 12 11 22 1 8 9 40 3 14 25 32 24 42 2 10 45 35 4 26 48 34 23 13 21 39 5 29 41 16 33 30 37 44 31 38	50696	51,23%
						123 250	413 779	00:00:39	45 42 46 36 30 17 44 38 8 33 20 47 21 23 14 25 2 24 32 11 12 15 40 1 9 31 43 27 19 37 6 28 7 18 13 39 35 10 41 16 22 3 34 29 5 48 26 4	61791	84,33%
eil51	50	1	1	1	1 000	69 350	955 732	00:00:32	11 28 31 8 26 43 24 47 12 17 40 42 44 15 37 50 21 29 22 48 25 13 38 16 34 30 9 49 10 39 33 45 5 46 4 19 41 18 14 27 32 1 23 7 3 36 35 20 2 51 6	713	67,37%
						67 150	1 193 640	00:00:33	50 9 33 45 15 19 40 41 13 25 18 4 17 42 44 30 3 36 35 20 29 21 16 11 32 1 2 28 31 8 26 7 43 23 48 2 34 39 10 49 38 51 14 24 6 27 46 12 47 5 37	638	49,77%
att48	25	2	1	1	2 000	84 600	1 168 665	00:00:34	31 46 11 30 37 8 40 15 21 32 39 25 14 41 16 22 1 36 27 6 28 18 44 38 24 45 35 4 26 10 42 2 29 23 13 47 7 19 17 43 20 48 5 34 3 12 33	60176	79,51%
						75 350	489 174	00:00:26	6 32 5 2 4 26 48 39 31 38 8 29 24 45 35 10 42 34 41 3 23 25 47 20 12 22 16 9 46 30 43 27 28 7 33 40 11 14 13 21 17 19 37 36 44 1 15 18	65206	94,52%
eil51	25	2	1	1	1 000	52 100	983 782	00:00:25	14 25 17 44 5 47 51 1 32 9 15 45 33 39 34 21 35 22 8 26 7 23 43 24 41 4 12 27 11 2 20 16 50 30 10 49 42 19 40 13 18 46 48 29 36 3 28 31 6 38 37	768	80,28%
						42 875	940 929	00:00:24	32 22 20 35 36 3 7 43 24 40 45 15 46 51 5 49 2 28 31 26 48 23 6 47 41 25 14 18 12 11 29 21 34 50 16 9 17 19 42 44 4 1 8 27 13 37 33 39 10 30 38	764	79,34%
att48	50	2	1	1	1 000	98 900	2 392 251	00:00:51	25 39 13 11 47 43 17 7 1 40 23 20 6 37 28 31 38 15 12 9 8 16 22 3 14 29 48 42 26 35 24 32 21 30 19 36 18 44 46 33 41 5 10 45 4 2 34	60575	80,70%
						123 500	2 789 995	00:01:01	5 48 25 40 16 18 9 15 33 46 31 44 7 6 19 37 38 14 42 45 4 2 29 13 21 20 3 22 41 34 26 35 10 24 32 39 47 12 18 36 30 43 17 27 28 11 23	59423	77,27%
eil51	50	2	1	1	2 000	177 300	1 636 529	00:01:12	3 35 20 21 49 10 33 45 37 11 16 2 29 36 22 31 48 7 43 23 6 14 25 13 4 17 41 19 40 42 44 15 46 27 32 50 34 30 39 9 38 5 12 51 47 18 24 26 8 1 28	628	47,42%
						186 600	3 431 316	00:01:32	50 30 10 39 33 45 44 42 40 19 37 4 24 23 48 27 22 3 31 26 8 6 51 46 32 49 5 12 47 18 14 43 7 1 11 38 9 34 29 35 20 36 28 2 15 17 41 13 25 16 21	681	59,86%
att48	25	1	2	1	2 000	67 125	423 928	00:00:23	17 45 4 42 48 25 33 46 31 44 18 28 37 19 27 43 30 20 21 13 15 40 9 8 1 16 3 41 34 14 23 39 32 5 29 2 26 35 10 24 47 11 12 22 38 7 36 6	57400	71,23%
						112 450	1 874 244	00:00:49	23 9 44 18 30 6 37 28 7 46 38 8 1 41 29 20 47 21 39 13 11 12 33 15 31 22 16 3 5 2 26 4 45 10 42 48 40 36 19 27 17 43 14 25 32 24 35 34	62457	86,32%
eil51	25	1	2	1	1 000	38 575	508 665	00:00:17	6 23 7 8 27 44 15 45 33 9 11 20 3 28 22 47 42 40 19 41 13 17 38 39 30 34 29 35 36 31 25 24 43 48 1 37 5 16 21 2 32 26 51 46 12 50 49 10 4 18 14	790	85,45%
						93 300	1 502 973	00:00:44	41 42 39 48 8 31 28 2 16 46 6 18 13 4 44 33 30 34 38 5 11 1 14 25 24 43 23 7 26 50 9 32 27 51 12 47 40 19 17 37 15 45 10 29 20 35 36 3 22 21 49	781	83,33%
att48	50	1	2	1	1 000	102 500	2 954 329	00:00:57	15 9 44 20 23 13 25 14 29 4 35 10 24 42 2 3 1 40 36 30 19 6 28 7 31 38 8 16 41 34 5 48 26 45 32 39 47 12 33 46 22 11 21 37 27 17 43 18	60084	79,24%
						68 600	1 565 323	00:00:34	36 6 37 27 43 44 46 33 15 12 11 47 21 24 4 13 23 3 9 38 31 28 19 17 30 20 25 14 34 41 29 5 48 42 2 26 35 45 10 32 39 40 1 8 16 22 18 7	53811	60,52%
eil51	50	1	2	1	2 000	125 550	1 255 170	00:00:51	14 23 48 15 42 17 47 51 46 10 30 9 16 29 36 35 21 34 49 45 37 12 32 27 6 24 43 7 1 22 2 38 50 20 3 28 31 26 8 25 18 4 13 41 40 19 44 33 39 5 11	704	65,26%
						167 500	1 864 392	00:01:12	33 39 50 16 51 1 28 26 8 6 47 4 37 12 20 35 36 3 31 11 9 44 19 40 41 13 25 14 24 43 7 23 18 15 45 49 5 32 22 2 29 21 34 10 38 27 48 46 17 42	719	68,78%
att48	25	2	1	1	1 000	72 450	2 399 291	00:00:43	10 48 25 13 11 23 3 41 16 22 7 28 6 19 27 30 36 18 44 46 33 34 29 2 26 35 39 14 12 1 18 38 31 37 17 43 40 15 20 47 21 5 42 4 32 24 45	57383	71,18%
						54 250	1 838 547	00:00:32	33 46 40 1 22 3 34 48 4 24 32 44 28 40 43 27 6 36 31 41 5 10 45 35 26 39 25 13 16 9 38 15 12 11 23 14 29 2 42 21 47 20 17 19 37 7 18	60467	80,38%
eil51	25	2	2	1	2 000	181 500	7 083 893	00:02:04	23 7 43 24 25 14 6 26 31 27 46 37 44 45 33 11 38 30 34 50 16 21 29 2 20 35 36 28 8 1 51 47 17 4 18 13 41 40 19 42 15 12 5 49 10 39 9 3 22 32 48	602	41,31%
						129 700	3 777 719	00:01:17	27 12 46 22 28 29 21 16 49 42 40 41 17 37 38 9 10 33 19 13 25 14 24 43 23 1 20 35 36 3 2 47 5 39 30 34 50 31 26 7 8 32 11 15 45 44 4 18 51 6 48	724	69,95%
att48	50	2	2	1	2 000	137 550	1 694 933	00:00:55	26 42 2 29 21 14 16 1 9 38 30 43 17 27 19 37 6 44 46 33 15 12 3 41 34 25 13 23 11 20 40 22 8 31 18 7 28 36 47 32 39 48 5 24 10 45 35 4	46785	39,57%
						208 100	5 413 473	00:01:49	44 38 41 34 39 32 24 42 48 5 29 2 26 4 35 45 10 21 6 37 19 27 17 43 30 20 47 13 25 14 23 11 15 22 16 8 1 9 31 18 7 28 36 46 33 12 3 40	47687	42,26%
eil51	50	2	2	1	1 000	123 300	5 163 097	00:01:26	16 35 36 20 28 27 14 27 32 11 9 34 50 31 8 26 43 23 17 42 19 40 41 13 41 3 2 29 21 30 12 46 51 6 48 24 25 18 47 44 15 45 33 39 10 49 5 38	677	58,92%
						212 200	7 407 612	00:02:19	46 32 1 22 11 19 40 41 13 14 24 48 8 26 7 43 23 6 51 47 4 18 25 27 38 9 16 2 31 28 3 36 35 20 29 21 50 34 30 49 10 39 33 45 15 12 17 42 44 37	574	34,74%

APÊNDICE B

att48	25	1	1	2	2	000	52 850	103 229	00:00:17	11 35 4 45 10 2 41 3 16 1 9 12 43 17 27 6 28 38 31 38 40 14 13 20 37 15 34 5 39 32 48 42 26 29 47 22 8 7 19 46 23 25 24 21 44 30 33	75384	124 88%
							54 800	103 573	00:00:16	29 2 4 42 13 43 17 18 44 11 23 34 8 38 30 27 19 37 6 28 7 36 31 1 15 12 47 39 25 14 5 26 46 9 3 22 16 41 35 45 10 48 20 33 40 21 32 24	70791	111,18%
eil51	25	1	1	2	1	000	30 875	188 735	00:00:11	46 14 43 8 2 34 33 39 16 38 5 12 6 36 35 50 9 30 45 44 42 13 18 27 11 49 3 28 26 23 1 20 21 10 37 40 41 4 17 15 51 29 22 48 24 31 32 47 19 25	956	124,41%
							60 225	344 123	00:00:22	46 49 30 34 50 2 28 27 4 5 10 45 15 42 40 13 25 1 35 36 7 23 6 14 41 19 44 33 12 32 2 20 29 21 16 39 37 17 18 38 9 11 51 48 43 26 31 8 24 47	822	92,96%
att48	50	1	1	2	1	000	82 800	920 774	00:00:33	34 29 5 32 11 40 38 44 18 36 6 37 19 27 47 28 7 42 10 45 4 26 21 45 47 46 15 23 14 48 24 39 21 13 12 30 31 9 8 16 22 1 33 20 3	58024	73,09%
							67 350	261 811	00:00:21	6 15 29 2 5 39 20 33 46 38 36 30 43 19 37 28 7 18 32 25 3 22 11 13 24 10 45 35 4 26 42 21 47 23 40 44 31 9 8 16 41 34 48 14 1 12 27 17	62516	86,49%
eil51	50	1	1	2	2	000	106 350	392 196	00:00:38	26 22 39 30 50 32 17 44 33 38 1 6 18 24 7 31 36 3 28 8 48 14 41 45 10 49 9 29 35 5 37 47 51 27 25 4 15 42 19 40 13 46 11 16 21 34 12 2 20 43 23	907	112,91%
							105 450	256 159	00:00:36	36 26 19 44 17 38 11 20 21 10 49 30 34 50 25 24 43 48 28 37 5 16 29 35 2 22 51 6 14 18 13 41 40 42 45 12 47 27 23 7 31 1 32 9 46 4 15 33 39 3	888	108,45%
att48	25	2	1	2	1	000	52 350	678 000	00:00:21	33 13 39 24 10 29 14 23 16 40 36 37 31 8 1 3 41 42 4 45 28 6 19 17 27 30 47 21 32 48 25 34 22 15 18 12 5 35 26 2 11 20 9 38 44 7 43 46	76814	129,15%
							37 150	826 451	00:00:18	38 36 25 26 4 2 29 41 11 21 23 34 48 42 10 47 30 19 6 7 31 1 8 18 28 37 27 17 43 33 46 9 22 12 20 13 14 5 35 45 24 32 39 15 44 16	68167	103,35%
eil51	25	2	1	2	2	000	61 975	274 197	00:00:22	1 48 8 3 49 50 10 33 37 4 46 14 13 41 40 19 42 44 45 39 16 32 17 18 25 24 7 26 20 34 51 27 23 6 47 12 15 30 38 11 21 29 22 1 28 35 36 2	788	84,98%
							57 825	406 483	00:00:22	26 48 43 27 1 32 11 47 4 5 2 50 39 34 21 35 46 37 13 25 24 23 7 8 51 12 22 29 38 15 45 42 40 19 41 18 14 6 17 44 33 30 9 16 3 36 20 10 49 28 31	819	92,25%
att48	50	2	1	2	2	000	171 100	3 056 284	00:01:17	18 7 31 38 44 27 30 15 12 13 34 41 4 10 24 39 25 11 43 17 19 37 6 28 36 33 47 21 32 45 35 26 48 20 46 40 9 8 1 16 22 3 14 29 2 42 5 23	60134	79,39%
							109 050	533 528	00:00:36	19 11 21 25 39 5 29 42 26 4 24 48 34 23 33 15 2 10 35 45 32 43 27 28 20 12 13 14 3 41 16 1 9 44 7 6 37 17 47 46 36 30 18 31 38 40 22 8	66743	99,10%
eil51	50	2	1	2	1	000	70 250	633 212	00:00:28	4 6 24 43 7 2 20 29 50 39 33 45 15 37 17 44 42 19 13 18 47 46 11 38 9 21 35 3 28 31 8 26 23 27 32 16 1 48 14 25 41 5 49 10 30 34 36 22 51 12 40	710	66,67%
							80 500	1 400 987	00:00:39	29 16 50 9 30 34 21 2 20 35 36 31 1 32 11 46 51 5 15 19 40 41 13 25 14 18 4 44 37 47 23 7 27 12 49 3 28 22 8 26 48 6 10 39 33 45 42 17 24 43 38	706	65,73%
att48	25	1	2	2	1	000	37 875	364 342	00:00:14	38 13 25 41 2 20 27 19 6 11 23 3 29 26 4 35 45 32 39 48 16 22 1 8 9 40 33 30 36 18 7 28 37 17 43 24 10 42 5 34 14 21 47 44 31 46 12 15	63817	90,37%
							29 650	169 988	00:00:10	10 5 25 39 32 29 2 26 42 24 48 13 20 28 7 46 8 1 22 11 12 15 33 47 21 23 14 34 3 16 40 9 38 31 18 27 43 17 19 37 6 30 36 44 41 4 35 45	54265	61,88%
eil51	25	1	2	2	2	000	58 175	1 444 206	00:00:32	10 33 44 17 41 6 48 26 8 31 28 1 2 29 34 12 37 15 45 42 19 5 21 32 27 23 18 40 13 25 14 24 43 7 51 46 38 9 16 22 3 36 35 20 50 30 39 11 4 47 49	751	76,29%
							53 325	166 543	00:00:19	34 17 48 1 36 35 2 22 26 7 23 6 14 13 18 46 32 43 8 31 28 3 21 38 39 45 37 47 44 19 41 40 42 15 5 10 49 9 16 29 20 11 12 51 27 24 25 4 33 30 50	790	85,45%
att48	50	1	2	2	2	000	110 650	2 041 981	00:00:50	44 19 17 27 6 30 36 13 34 41 9 38 31 37 43 12 22 16 8 4 3 47 21 39 32 24 42 26 4 35 45 10 2 29 5 48 25 14 23 40 15 20 28 7 18 33 11 46	51155	52,60%
							111 400	644 535	00:00:38	42 26 32 14 20 36 28 7 18 38 9 40 11 23 25 13 21 30 19 31 8 3 24 10 4 35 45 43 17 27 37 6 33 12 34 2 41 16 22 1 44 46 15 47 39 48 29	65514	95,44%
eil51	50	1	2	2	1	000	93 100	2 070 836	00:00:49	35 36 3 51 12 45 44 19 40 41 17 37 15 39 30 49 9 34 50 16 2 28 31 38 5 46 6 14 18 13 4 47 11 27 1 22 8 26 48 32 20 29 21 10 33 42 25 24 43 7 23	710	66,67%
							59 950	435 388	00:00:23	10 33 45 42 44 37 47 11 49 9 16 50 34 30 39 38 5 17 4 19 41 13 25 1 35 3 28 31 26 7 43 24 23 48 27 51 12 40 18 14 6 8 22 32 46 15 21 29 2 20 36	701	64,55%
att48	25	2	2	2	2	000	112 075	3 621 499	00:01:05	46 15 40 1 16 41 3 13 32 21 20 43 17 27 30 33 8 23 48 10 35 45 24 42 5 29 2 4 26 39 25 14 34 22 11 47 12 6 19 37 28 7 18 9 38 31 44 36	53552	59,75%
							64 300	1 468 820	00:00:32	4 45 47 11 15 43 46 9 22 16 1 8 38 31 18 7 28 19 27 33 12 40 3 14 10 2 29 41 34 21 44 36 6 37 17 30 23 13 25 39 32 48 5 42 24 35 26	58198	73,61%
eil51	25	2	2	2	1	000	44 925	915 167	00:00:23	45 44 42 40 13 4 5 10 34 21 29 8 7 43 48 11 12 51 6 23 24 14 18 41 19 17 39 30 49 32 26 31 28 36 35 3 22 46 47 25 27 1 2 20 16 50 9 38 37 15 33	702	64,79%
							36 025	485 458	00:00:16	10 46 27 48 8 26 25 47 12 37 44 14 24 22 31 28 3 20 1 7 43 23 6 18 11 38 9 49 39 45 17 5 32 2 16 29 35 36 21 50 34 30 33 15 42 51 13 41 40 19 4	765	79,58%
att48	50	2	2	2	1	000	113 450	2 352 795	00:00:55	34 25 21 13 23 3 16 8 9 40 12 33 7 28 6 27 17 30 36 44 46 47 15 1 22 41 2 48 24 10 26 4 35 45 42 39 32 20 43 19 37 18 31 38 11 14 5 29	51500	53,63%
							68 800	2 826 604	00:00:45	14 34 24 32 13 19 7 18 1 16 40 15 23 25 39 48 45 35 4 26 42 47 31 8 41 2 29 5 46 36 43 17 27 37 6 30 28 44 9 33 20 21 10 32 38 12 11	70865	111,40%
eil51	50	2	2	2	2	000	178 900	8 974 805	00:02:21	19 40 41 13 47 50 34 21 29 2 5 39 33 45 15 44 37 32 48 26 31 28 3 36 35 20 8 27 51 46 12 17 42 18 25 14 24 43 7 23 6 1 22 11 38 16 9 30 10 4	618	45,07%
							157 950	5 963 409	00:01:47	20 32 28 31 8 26 43 23 51 46 18 25 13 41 19 40 42 45 14 24 27 1 22 11 38 9 30 39 33 15 37 17 4 47 12 6 7 48 3 36 35 29 21 34 49 5 44 10 50 16 2	653	53,29%

^a Processador: intel(R) Core(TM) i7-9750H CPU @ 2.60GHz 2.59 GHz/RAM instalada: 12,0 GB (11,9 GB utilizavel)

APÊNDICE C

Corrida	Problema	Partículas	Inércia	Cognitivo	Social	Iterações sem melhoria
1	att48	25	1	1	1	1000
2	eil51	25	1	1	1	1000
3	att48	50	1	1	1	1000
4	eil51	50	1	1	1	1000
5	att48	25	2	1	1	1000
6	eil51	25	2	1	1	1000
7	att48	50	2	1	1	1000
8	eil51	50	2	1	1	1000
9	att48	25	1	2	1	1000
10	eil51	25	1	2	1	1000
11	att48	50	1	2	1	1000
12	eil51	50	1	2	1	1000
13	att48	25	2	2	1	1000
14	eil51	25	2	2	1	1000
15	att48	50	2	2	1	1000
16	eil51	50	2	2	1	1000
17	att48	25	1	1	2	1000
18	eil51	25	1	1	2	1000
19	att48	50	1	1	2	1000
20	eil51	50	1	1	2	1000
21	att48	25	2	1	2	1000
22	eil51	25	2	1	2	1000
23	att48	50	2	1	2	1000
24	eil51	50	2	1	2	1000
25	att48	25	1	2	2	1000
26	eil51	25	1	2	2	1000
27	att48	50	1	2	2	1000
28	eil51	50	1	2	2	1000
29	att48	25	2	2	2	1000
30	eil51	25	2	2	2	1000
31	att48	50	2	2	2	1000
32	eil51	50	2	2	2	1000
33	att48	25	1	1	1	2000
34	eil51	25	1	1	1	2000
35	att48	50	1	1	1	2000
36	eil51	50	1	1	1	2000
37	att48	25	2	1	1	2000
38	eil51	25	2	1	1	2000
39	att48	50	2	1	1	2000
40	eil51	50	2	1	1	2000
41	att48	25	1	2	1	2000
42	eil51	25	1	2	1	2000
43	att48	50	1	2	1	2000
44	eil51	50	1	2	1	2000
45	att48	25	2	2	1	2000
46	eil51	25	2	2	1	2000
47	att48	50	2	2	1	2000
48	eil51	50	2	2	1	2000
49	att48	25	1	1	2	2000
50	eil51	25	1	1	2	2000
51	att48	50	1	1	2	2000
52	eil51	50	1	1	2	2000
53	att48	25	2	1	2	2000
54	eil51	25	2	1	2	2000
55	att48	50	2	1	2	2000
56	eil51	50	2	1	2	2000
57	att48	25	1	2	2	2000
58	eil51	25	1	2	2	2000
59	att48	50	1	2	2	2000
60	eil51	50	1	2	2	2000
61	att48	25	2	2	2	2000
62	eil51	25	2	2	2	2000
63	att48	50	2	2	2	2000
64	eil51	50	2	2	2	2000

APÊNDICE D

Problema	População	Inércia	Cognitiva	Social	# iterações sem melhoria	# iterações	# avaliações	Tempo de computação	Solução	Avaliação	Desvio do ótimo
att48	25	1	1	1	1000	38 200	283 093	00:00:19	15 29 2 4 26 48 25 14 11 7 44 9 8 16 41 10 35 45 39 12 46 38 31 18 36 28 30 43 17 27 19 37 6 20 47 21 42 5 34 23 33 40 1 22 3 24 32 13	62458	86,32%
						36 525	242 111	00:00:13	5 34 14 21 23 16 8 6 48 24 45 35 26 10 20 43 27 33 46 38 41 39 32 29 2 4 42 25 3 22 1 15 31 44 28 37 19 17 13 11 12 40 9 7 30 36 18 47	73472	119,18%
eil51	25	1	1	1	1000	45 250	193 478	00:00:17	21 29 49 38 11 20 36 1 32 27 8 26 48 23 6 14 18 4 41 19 42 44 15 37 47 12 5 2 16 50 34 9 10 33 45 17 40 13 46 3 7 43 24 25 51 39 30 35 28 31 22	738	73,24%
						32 600	208 787	00:00:12	46 32 1 24 25 41 40 47 12 51 38 44 15 33 39 10 30 29 36 20 2 50 11 27 26 31 28 3 35 16 5 45 49 9 34 21 6 23 13 4 17 42 19 18 14 43 7 8 48 27 37	773	81,46%
att48	50	1	1	1	1000	58 750	303 655	00:00:20	22 32 42 29 9 47 11 14 5 26 4 35 45 10 48 39 25 13 16 3 15 33 38 31 36 30 6 37 27 43 17 19 28 7 44 8 1 40 23 34 41 2 24 21 46 18 20 12	62121	85,31%
						79 550	1 187 863	00:00:34	7 43 17 27 19 37 6 28 44 31 1 40 32 24 35 4 26 42 5 34 41 22 38 8 16 3 14 23 11 12 15 46 18 36 30 33 47 21 39 48 10 45 2 29 25 13 20 9	53779	60,43%
eil51	50	1	1	1	1000	86 200	475 401	00:00:31	19 4 7 31 2 9 39 30 29 36 1 32 46 37 47 51 27 6 14 18 12 5 17 42 41 13 25 23 28 11 38 16 21 34 49 10 33 45 44 24 43 48 8 26 22 3 20 35 50 15 40	795	86,62%
						64 800	537 432	00:00:25	32 51 17 44 37 5 9 35 28 22 27 41 40 25 24 23 7 1 38 12 47 4 14 6 48 2 29 21 16 11 18 50 34 30 10 33 45 43 28 8 31 3 36 20 49 39 15 42 19 13 46	818	92,02%
att48	25	2	1	1	1000	46 475	737 307	00:00:20	19 31 40 1 41 14 47 10 45 26 42 48 39 23 9 8 44 12 32 24 4 2 34 3 16 36 28 43 17 6 7 18 15 11 13 25 5 29 22 38 46 37 30 20 33 27	66858	99,45%
						73 075	1 200 446	00:00:32	29 48 4 35 10 24 13 33 43 17 7 46 22 16 3 41 26 42 11 9 44 18 36 28 6 37 19 27 30 20 12 31 38 40 34 23 47 21 32 45 5 14 1 8 15 25 39 2	68634	104,74%
eil51	25	2	1	1	1000	60 700	1 429 368	00:00:32	32 28 3 36 20 29 34 49 33 25 24 23 8 22 16 5 12 47 14 11 2 35 31 26 7 51 46 19 41 13 18 38 10 30 30 9 1 27 48 43 6 21 50 45 42 40 4 44 15 37 17	830	94,84%
						50 175	1 713 757	00:00:32	25 51 22 36 9 49 10 30 34 50 1 31 8 6 24 14 41 19 44 17 4 18 16 21 35 2 23 43 7 26 28 29 33 45 15 37 47 42 40 13 48 27 38 11 32 3 20 39 5 12 46	850	99,53%
att48	50	2	1	1	1000	123 100	2 820 680	00:01:01	20 46 31 36 6 27 17 43 30 28 44 10 11 47 12 15 38 8 1 22 16 5 48 25 13 21 33 19 37 18 9 34 29 42 24 10 45 35 4 26 2 32 39 41 3 23 14	52779	57,45%
						136 200	3 326 373	00:01:09	46 36 28 7 18 9 1 27 17 30 33 40 16 3 34 23 11 47 13 25 39 24 42 48 5 29 2 4 26 10 35 45 32 21 14 20 43 37 31 38 22 41 12 15 6 19 44 8	57894	72,70%
eil51	50	2	1	1	1000	97 650	1 506 578	00:00:47	16 20 35 36 3 22 6 14 51 12 37 42 41 13 18 47 46 32 43 26 31 28 2 38 5 49 39 33 15 19 40 25 27 48 23 24 7 8 1 29 21 50 34 30 10 45 44 17 4 11 9	678	59,15%
						95 650	1 416 838	00:00:44	41 40 17 47 18 14 1 38 5 33 10 49 50 21 29 36 3 8 27 48 23 7 43 24 25 51 46 37 44 30 16 32 6 26 31 28 22 35 20 2 11 13 4 12 9 34 39 45 15 47 19	718	68,54%
att48	25	1	2	1	1000	49 200	1 073 196	00:00:24	16 25 24 4 26 42 29 3 8 15 12 20 47 11 13 21 32 39 34 40 33 46 18 6 27 17 19 37 31 38 9 41 2 35 45 10 48 5 14 22 1 36 43 30 28 7 44 23	59840	78,51%
						67 850	634 019	00:00:25	7 19 27 17 43 30 18 44 31 40 15 6 37 28 36 33 12 11 47 13 25 42 24 39 21 32 48 5 29 2 26 4 35 45 10 34 3 20 46 1 22 16 41 14 23 9 8 38	49944	48,99%
eil51	25	1	2	1	1000	39 825	646 641	00:00:19	50 11 26 43 27 46 12 17 40 15 44 45 33 10 49 30 34 35 3 28 31 8 6 1 32 2 20 21 16 9 39 5 37 47 18 4 42 19 41 13 25 14 51 38 48 24 23 7 22 36 29	725	70,19%
						55 000	1 011 906	00:00:26	50 21 38 51 6 7 24 14 18 37 10 16 2 29 20 35 36 3 28 22 27 48 25 13 41 44 47 12 46 23 43 26 31 8 1 32 11 49 15 45 42 40 19 4 17 9 34 30 39 33 5	671	57,51%
att48	50	1	2	1	1000	100 800	2 000 875	00:00:46	44 36 37 19 27 17 21 47 12 40 1 22 3 41 2 29 2 45 10 42 5 48 39 14 23 8 9 46 30 43 6 28 7 33 13 32 24 35 4 26 25 34 16 38 18 20 11 15 31	57437	71,34%
						127 700	4 051 010	00:01:13	48 5 29 2 42 26 35 45 24 32 21 20 8 38 43 17 27 37 6 30 47 23 14 34 41 22 3 15 31 44 33 12 39 10 4 25 13 46 18 28 19 40 16 1 9 7 36 11	62242	85,68%
eil51	50	1	2	1	1000	100 700	1 579 160	00:00:47	20 31 8 1 2 29 49 39 33 15 37 17 44 42 19 4 47 5 38 16 35 11 12 6 23 7 43 24 14 25 13 40 41 48 26 28 3 36 21 34 50 9 30 10 45 18 46 51 27 32 22	677	58,92%
						114 250	1 041 931	00:00:47	2 9 49 5 18 17 37 45 33 39 10 38 6 14 13 25 43 23 48 8 27 27 51 32 11 20 35 36 3 7 24 4 41 19 40 42 44 15 47 12 46 26 31 1 29 50 30 34 21 16	671	57,51%
att48	25	2	1	1	1000	151 750	5 798 358	00:01:36	22 3 13 21 24 10 26 5 48 23 47 30 43 17 27 37 28 33 12 40 34 42 2 29 16 8 38 31 44 18 19 15 14 25 32 11 46 36 7 20 39 45 35 4 41 9 1	66538	98,49%
						57 800	1 485 453	00:00:30	11 1 8 16 41 34 14 25 21 47 23 12 15 40 9 31 44 36 6 37 43 13 32 39 48 5 29 42 24 10 45 35 4 26 2 3 22 38 46 20 27 17 19 30 28 7 18 33	47736	42,40%
eil51	25	2	1	1	1000	113 075	4 171 035	00:01:16	26 46 50 30 39 10 51 6 43 31 28 22 1 27 48 23 25 42 44 17 12 5 32 2 3 35 20 21 9 38 49 33 45 15 37 47 14 24 13 40 19 41 4 18 11 16 34 29 36 7 8	735	72,54%
						55 775	1 680 219	00:00:34	27 1 2 22 28 23 43 7 26 31 3 36 35 20 9 11 32 48 24 14 13 4 51 46 12 37 17 41 19 40 42 44 16 50 10 39 33 45 15 5 49 30 34 21 29 38 47 18 25 6 8	636	49,30%
att48	50	2	1	1	1000	110 300	4 538 576	00:01:12	34 3 16 12 46 31 44 28 37 43 30 18 38 8 33 11 47 48 24 45 4 2 29 41 22 9 15 23 33 39 32 21 20 27 17 19 6 7 36 1 40 14 25 5 42 35 10 26	58725	75,18%
						170 800	4 812 418	00:01:32	2 4 24 21 20 33 12 25 5 29 3 22 40 7 37 19 27 17 43 28 18 44 31 15 38 8 1 41 34 14 23 13 39 32 45 35 10 48 11 47 30 6 36 46 9 16 42 26	59890	78,66%
eil51	50	2	2	1	1000	125 800	4 944 614	00:01:28	27 49 10 39 45 4 51 9 50 2 20 22 1 48 43 7 26 8 31 28 3 36 35 29 21 38 33 15 17 18 41 19 42 44 37 5 47 6 32 11 16 34 30 46 12 40 13 25 14 24 23	684	60,56%
						105 300	3 579 684	00:01:08	38 18 4 17 37 5 49 30 34 50 22 8 26 7 23 24 14 25 19 47 12 46 11 1 2 29 20 35 36 3 28 31 48 43 13 40 42 44 45 33 39 10 9 15 41 6 27 51 16 21 32	675	58,45%

APÊNDICE E

att48	25	1	1	2	1 000	33 325	176 098	00:00:11	44 12 5 4 35 39 21 23 13 11 15 46 31 6 37 17 27 30 7 18 38 2 42 26 45 10 24 32 47 40 3 22 41 29 34 1 9 8 16 14 48 25 20 33 36 43 19 28	64900	93,60%
						41 175	113 929	00:00:13	22 5 2 26 45 10 24 48 32 20 40 46 43 28 7 15 23 34 25 39 18 31 38 3 41 29 4 35 42 14 6 27 19 37 13 11 10 1 8 9 12 21 33 44 36 30 17 47	74644	122,67%
eil51	25	1	1	2	1 000	27 075	89 937	00:00:10	34 29 49 33 9 16 5 4 18 23 14 25 42 12 51 30 15 45 44 19 40 41 13 47 37 10 39 3 36 2 22 1 27 17 38 50 11 28 31 26 8 48 7 43 24 6 46 32 20 35 21	797	87,09%
						49 800	123 101	00:00:16	12 11 50 33 13 25 43 23 6 18 4 16 20 35 36 31 24 2 49 10 5 47 17 41 40 42 44 37 15 45 39 21 22 48 7 26 8 28 3 29 51 46 38 9 30 34 32 1 27 14 19	838	96,71%
att48	50	1	1	2	1 000	57 600	1 042 935	00:00:25	25 5 26 35 45 10 42 24 32 21 12 15 31 44 17 43 47 13 11 23 3 2 4 48 14 30 27 7 46 38 8 1 40 18 28 6 19 37 36 20 33 9 22 16 41 34 29 39	59748	76,74%
						59 200	373 929	00:00:21	2 32 23 34 5 48 14 22 38 6 37 17 27 30 7 18 38 2 42 26 45 10 24 32 47 40 3 22 41 29 34 1 9 8 16 14 48 25 20 33 36 43 19 28	73387	118,92%
eil51	50	1	1	2	1 000	55 800	256 463	00:00:21	40 47 23 32 37 27 48 22 29 5 15 17 4 18 14 13 19 44 12 51 46 11 50 34 2 20 3 1 6 31 26 7 43 24 25 41 42 9 49 16 21 36 35 28 8 38 30 10 39 33 45	813	90,85%
						86 100	569 620	00:00:33	1 24 47 17 45 33 34 22 8 23 27 51 46 12 4 41 14 6 43 26 31 2 29 49 40 42 44 39 30 9 38 5 11 32 20 21 16 50 10 19 13 18 3 28 48 7 25 37 15 35 36	916	115,02%
att48	25	2	1	2	1 000	47 200	1 365 064	00:00:26	4 26 2 29 42 21 40 8 38 31 44 7 17 43 28 36 15 23 3 41 22 46 6 30 20 24 45 35 10 5 48 32 39 25 34 14 13 47 11 16 1 9 33 18 37 19 27 12	61893	84,63%
						31 050	597 240	00:00:14	34 6 37 27 43 46 33 15 23 13 29 48 39 17 19 8 16 3 20 18 7 28 36 12 11 21 24 26 25 1 31 44 30 47 40 38 9 22 41 5 42 10 35 45 4 2 32 14	72777	117,10%
eil51	25	2	1	2	1 000	31 075	226 392	00:00:12	47 40 19 18 12 45 39 10 23 48 1 50 9 49 15 44 46 22 2 29 38 11 51 25 24 43 7 26 8 31 28 32 27 6 14 4 13 41 42 17 5 16 30 34 21 35 36 3 20 33 37	764	79,34%
						36 025	1 199 714	00:00:22	22 31 3 2 43 4 44 42 19 40 41 47 42 24 7 26 48 1 32 11 5 30 10 33 34 16 29 35 36 8 23 6 51 46 49 45 17 18 13 25 14 28 20 37 39 9 50 21 38 15 27	853	100,23%
att48	50	2	1	2	1 000	65 800	1 371 939	00:00:32	38 11 23 48 10 16 22 33 20 37 18 44 3 34 41 1 8 9 47 21 32 39 13 15 31 28 6 17 43 30 40 14 29 2 26 4 35 45 24 42 5 25 12 46 27 19 7	62895	87,62%
						65 450	523 606	00:00:24	14 29 41 46 31 44 37 6 20 12 22 3 23 47 21 24 25 34 16 40 11 33 30 43 17 27 19 28 36 7 18 38 8 1 9 15 2 26 4 35 45 10 42 32 39 48 5 13	56289	67,92%
eil51	50	2	1	2	1 000	61 050	451 324	00:00:24	37 33 45 44 4 25 13 41 19 40 42 17 12 5 1 3 36 16 10 30 50 21 29 20 8 7 43 47 46 11 49 15 39 34 35 2 32 27 18 14 24 28 22 9 38 51 6 23 48 31 26	795	86,62%
						75 650	3 458 358	00:00:58	21 50 29 11 32 8 26 36 35 20 2 34 39 10 46 1 28 7 25 13 42 4 51 27 6 18 41 40 19 45 33 49 38 3 24 14 17 44 15 37 47 12 22 31 48 23 43 5 16 9 30	811	90,38%
att48	25	1	2	2	1 000	33 075	297 163	00:00:12	41 34 14 39 37 47 23 9 38 18 7 30 6 37 19 43 48 29 2 4 26 42 24 45 35 10 5 25 13 11 40 15 46 44 28 36 1 8 31 27 17 20 21 12 33 3 22 16	54063	61,28%
						31 150	255 883	00:00:11	10 2 41 23 9 6 19 77 43 46 12 47 21 32 40 31 44 18 7 30 20 13 48 42 5 3 14 25 39 35 45 4 76 27 8 37 17 28 36 33 11 15 38 1 16 34 29 24	67808	102,28%
eil51	25	1	2	2	1 000	56 550	692 345	00:00:24	16 9 2 18 13 25 14 48 43 7 31 3 36 20 50 34 45 12 6 26 28 22 35 29 21 38 11 27 4 41 40 19 42 15 33 39 30 10 49 5 32 8 23 24 51 37 44 17 47 46 1	755	77,23%
						29 100	207 426	00:00:21	19 41 23 35 29 21 34 30 37 12 6 14 18 40 42 5 51 43 7 26 8 48 27 11 9 15 44 45 33 39 10 36 3 22 38 16 2 1 31 28 20 50 47 24 25 4 17 32 46 49 13	865	103,05%
att48	50	1	2	2	1 000	63 550	321 239	00:00:21	43 27 30 36 18 11 25 5 29 2 24 35 4 26 39 21 33 17 19 37 38 40 46 20 47 12 15 9 8 22 41 14 48 32 13 6 28 7 31 23 45 10 42 34 16 1 44	67211	100,50%
						127 150	3 024 014	00:01:04	9 20 30 43 17 27 18 38 16 25 39 32 21 47 12 33 6 19 37 46 40 22 3 2 26 4 45 42 5 48 41 14 13 24 35 10 29 34 23 15 1 8 31 44 28 36 11	61053	82,13%
eil51	50	1	2	2	1 000	58 900	416 261	00:00:24	33 5 21 29 51 27 6 24 4 47 12 37 45 44 42 41 17 46 1 32 11 38 50 3 22 31 26 7 48 20 36 28 18 13 25 14 43 23 8 2 16 34 49 10 40 19 15 9 30 39	773	81,46%
						66 450	493 959	00:00:25	9 30 34 22 8 6 14 43 7 26 20 35 36 31 24 40 19 12 5 45 33 39 10 16 29 27 51 25 23 48 1 46 11 38 49 17 4 41 42 44 15 47 32 28 3 2 37 13 18 50 21	838	96,71%
att48	25	2	2	2	1 000	45 900	1 183 716	00:00:24	18 44 40 3 28 6 12 23 34 48 10 24 32 39 20 15 11 25 42 45 35 4 26 2 29 5 21 47 41 16 9 38 46 36 7 31 8 1 22 44 13 33 30 43 17 27 19 37	58189	73,58%
						35 725	929 491	00:00:19	13 21 43 6 18 12 47 3 34 25 10 45 35 4 26 42 33 15 9 31 37 19 27 30 22 41 16 1 8 38 29 2 32 20 17 28 36 7 44 46 40 23 9 24 48 5 14 11	67020	99,93%
eil51	25	2	2	2	1 000	38 225	570 287	00:00:19	44 17 12 5 27 31 28 35 29 2 22 7 43 14 6 51 18 4 13 19 45 33 39 10 30 49 37 25 24 23 48 26 8 1 32 3 36 20 21 34 50 16 9 38 11 46 15 42 40 41	669	57,04%
						31 200	551 334	00:00:15	39 49 16 20 35 28 8 7 43 23 47 46 27 1 48 26 31 36 34 4 18 25 13 41 12 51 2 29 21 50 30 11 32 22 3 38 9 10 33 15 37 17 44 42 19 40 24 14 6 5 45	758	77,93%
att48	50	2	2	2	1 000	105 400	2 702 308	00:00:54	3 11 20 47 13 25 34 16 22 40 18 36 33 15 1 9 38 31 6 27 17 43 30 44 23 21 24 10 45 4 42 2 29 5 48 14 7 28 37 19 32 35 26 39 12 46 8 41	64160	91,40%
						68 350	1 094 108	00:00:29	2 26 4 35 45 10 24 42 29 5 13 9 1 16 22 40 33 47 39 48 14 11 15 8 38 46 36 17 43 20 21 32 12 30 27 19 37 6 28 7 18 44 31 23 25 34 41	53169	58,61%
eil51	50	2	2	2	1 000	102 050	2 670 279	00:00:58	42 17 12 51 11 29 21 49 5 15 33 39 10 30 34 50 19 40 27 48 26 8 22 28 3 36 35 16 9 38 32 47 4 13 41 44 45 47 46 2 20 31 6 14 25 24 43 7 23 18	716	68,08%
						69 400	1 842 769	00:00:40	4 18 1 8 3 20 32 38 49 5 12 27 51 47 13 13 19 45 10 39 30 34 21 29 16 11 48 6 25 24 43 23 7 31 15 44 42 40 41 17 37 9 50 2 46 14 26 22 28 36 35 33	799	87,56%

APÊNDICE F

att48	25	1	1	1	2 000	64 725	297 573	00:00:21	29 2 5 48 14 16 40 20 25 23 15 9 8 38 37 27 17 21 32 42 4 26 10 35 45 24 39 34 3 33 46 36 7 6 43 30 31 1 22 41 12 11 13 19 28 18 44 47	63724	90,10%
						70 625	990 393	00:00:31	3 33 15 9 1 22 2 5 39 25 13 11 47 43 19 36 18 44 8 16 23 14 24 32 21 20 12 38 31 6 30 27 17 37 28 7 46 40 41 34 10 45 35 4 26 42 29 48	58894	75,69%
eil51	25	1	1	1	2 000	62 425	191 514	00:00:22	22 4 46 49 5 28 36 35 30 39 37 17 12 11 27 48 6 51 47 14 25 13 41 40 45 10 9 50 16 24 43 23 20 29 2 32 18 7 26 8 31 3 21 34 33 42 19 44 15 38	838	96,71%
						62 650	282 457	00:00:23	47 17 49 38 32 8 6 24 25 40 4 12 51 27 48 7 14 18 13 41 19 42 33 10 50 35 36 28 31 26 22 1 15 39 2 3 20 21 34 9 45 44 16 29 30 46 43 23 37 11	862	102,35%
att48	50	1	1	1	2 000	126 100	309 039	00:00:39	18 33 1 23 29 39 13 47 40 8 38 6 30 36 46 9 16 11 14 48 5 2 41 22 44 37 43 20 24 42 10 45 35 4 26 32 21 25 34 3 12 15 31 7 19 17 27 28	64155	91,38%
						129 850	411 165	00:00:41	2 42 32 17 27 19 6 28 36 7 44 33 22 14 13 47 39 48 24 45 35 41 16 8 40 15 30 37 31 3 29 5 21 11 12 20 43 18 46 38 9 1 23 34 25 10 26 4	65315	94,84%
eil51	50	1	1	1	2 000	197 600	3 715 518	00:01:37	32 21 50 49 44 19 4 25 14 23 48 46 51 38 9 34 29 22 31 7 24 6 8 3 35 36 28 27 12 5 37 47 18 43 26 1 11 20 16 30 10 39 33 17 13 41 40 42 15 45	763	79,11%
						197 000	830 477	00:01:11	44 4 41 23 43 7 22 21 30 10 45 33 39 34 50 16 32 27 48 31 28 3 36 35 20 2 1 47 17 38 29 9 49 11 46 51 8 26 24 25 13 40 19 42 18 14 6 12 5 37 15	684	60,56%
att48	25	2	1	1	2 000	67 875	612 202	00:00:24	48 42 10 24 32 21 47 17 3 29 2 16 1 46 28 6 27 30 33 38 9 8 22 41 11 13 25 45 35 4 26 39 14 40 31 44 18 36 37 19 43 20 12 15 23 34 5	61952	84,81%
						70 600	480 664	00:00:24	48 23 9 8 1 33 44 18 36 6 37 19 27 17 43 30 28 46 40 11 47 21 22 3 14 25 39 5 42 45 35 2 34 41 16 12 15 38 31 7 20 13 32 26 4 10 24 29	55330	65,06%
eil51	25	2	1	1	2 000	74 550	925 791	00:00:33	48 43 51 47 18 41 40 13 4 34 29 2 20 35 36 3 1 27 14 12 37 44 15 45 33 39 38 16 22 8 7 23 24 6 5 10 49 11 32 26 28 21 50 39 46 25 19 42 17 31	807	89,44%
						62 650	420 319	00:00:23	43 23 48 26 28 35 50 9 49 45 15 46 5 10 30 11 8 7 6 14 25 18 13 41 40 42 37 17 4 47 51 32 1 22 39 34 21 29 36 20 2 16 38 33 44 19 12 27 3 31 24	750	76,06%
att48	50	2	1	1	2 000	215 000	4 479 215	00:01:42	13 32 45 35 5 34 1 43 17 19 6 28 31 8 23 14 25 39 21 40 15 46 37 38 9 3 22 16 41 4 2 26 42 4 26 42 8 12 33 30 27 24 10 29 11 44 18 7 36 20 47	69102	106,14%
						184 100	2 447 588	00:01:15	37 30 36 15 40 47 21 25 34 14 13 20 43 17 6 38 9 22 16 41 5 26 4 35 45 10 42 24 32 39 23 44 18 27 12 11 48 2 29 3 1 8 31 46 33 28 19	56260	67,83%
eil51	50	2	1	1	2 000	127 450	1 308 957	00:00:53	16 17 47 14 43 25 13 41 40 19 42 45 33 37 12 51 4 18 24 48 27 11 1 22 26 28 3 36 35 20 29 21 50 34 30 38 5 49 10 39 15 44 46 23 7 31 8 6 32 9 2	672	57,75%
						255 700	3 082 448	00:01:51	46 51 27 6 14 25 3 36 34 30 33 45 37 5 11 16 29 1 48 23 43 7 8 38 15 44 19 40 41 13 4 17 47 12 26 31 28 35 20 21 50 39 10 9 2 22 32 49 42 18 24	760	78,40%
att48	25	1	2	1	2 000	118 375	1 332 574	00:00:45	5 23 15 33 31 18 7 36 6 30 43 45 35 4 26 10 24 2 29 41 34 14 13 47 20 17 19 28 44 38 9 8 1 3 25 42 39 32 21 27 37 46 12 11 40 22 16 48	59087	76,26%
						100 625	632 006	00:00:35	12 23 13 14 25 48 35 45 21 20 38 31 36 6 37 19 27 17 43 30 28 7 18 3 34 29 2 4 26 10 5 41 16 22 8 1 40 15 33 11 47 39 32 24 42 9 44 46	55536	65,67%
eil51	25	1	2	1	2 000	80 650	492 935	00:00:29	14 6 8 31 3 2 16 38 12 5 34 21 29 36 22 1 32 46 27 48 23 24 43 7 26 28 35 20 30 49 10 39 33 45 15 44 40 25 18 47 9 50 11 51 37 17 4 13 41 19 42	660	54,93%
						61 175	519 333	00:00:24	46 2 20 35 24 14 13 4 37 50 29 3 36 21 34 30 16 11 31 8 48 23 43 25 18 41 40 19 42 17 47 12 38 9 49 10 39 45 51 6 7 26 28 22 27 5 33 15 44 32 1	758	77,93%
att48	50	1	2	1	2 000	165 950	2 651 790	00:01:10	40 9 44 28 30 27 43 20 13 23 3 16 29 42 24 21 12 36 6 17 19 37 18 31 38 46 33 15 47 2 26 4 35 45 10 32 48 5 34 41 22 8 1 14 25 39 11	55765	66,35%
						216 700	832 833	00:01:09	11 40 1 9 44 7 6 27 17 43 20 12 47 32 42 2 29 41 34 14 13 25 39 24 10 45 35 4 26 5 48 21 23 3 22 16 8 38 31 46 33 18 36 30 19 37 28 15	46983	40,16%
eil51	50	1	2	1	2 000	205 800	1 992 549	00:01:22	42 15 10 30 34 16 49 5 17 19 40 4 18 14 24 7 26 27 51 46 11 38 9 50 35 36 3 28 31 8 22 1 48 6 23 43 25 13 47 32 20 12 37 44 5 33 39 21 29 2 41	689	61,74%
						165 150	1 275 108	00:01:04	9 30 37 17 25 24 43 48 28 22 1 32 11 5 38 2 29 21 39 33 45 44 42 40 19 4 49 34 50 20 35 36 3 8 27 6 51 46 47 18 14 13 41 15 10 16 31 26 7 23 12	699	64,08%
att48	25	2	2	1	2 000	165 100	2 317 570	00:01:07	11 14 29 2 4 45 24 4 1 22 40 9 8 38 44 7 6 37 19 27 17 43 30 36 31 46 33 15 12 20 21 32 10 35 26 39 23 47 28 18 1 16 34 5 42 48 25 13	56079	67,29%
						89 050	2 247 482	00:00:45	6 39 48 5 1 8 9 38 15 33 12 29 10 35 45 24 25 21 47 11 46 7 28 19 27 43 30 31 40 32 42 26 4 2 34 41 16 22 3 23 14 13 20 44 18 36 37 17	58695	75,09%
eil51	25	2	2	1	2 000	119 175	3 987 197	00:01:17	34 16 2 3 28 31 26 8 14 17 37 15 5 12 47 18 41 13 25 43 7 6 51 45 33 38 32 1 23 24 4 19 40 42 44 49 9 21 20 35 36 22 48 27 46 11 29 50 10 39 30	682	60,09%
						145 600	3 208 143	00:01:17	30 3 28 31 1 32 20 35 36 29 21 16 5 51 41 19 40 42 15 37 17 18 25 14 12 11 38 9 49 10 33 39 34 50 2 22 46 4 24 43 23 7 26 8 48 27 6 47 13 44 45	681	59,86%
att48	50	2	2	1	2 000	308 850	8 129 886	00:02:41	12 11 43 17 19 28 18 31 38 8 1 3 13 21 47 20 33 15 23 25 14 34 29 5 24 10 45 35 4 26 42 2 36 30 27 37 6 7 44 46 40 32 39 48 41 16 22 9	52032	55,22%
						210 900	5 746 075	00:01:52	5 25 3 22 16 1 8 9 38 44 33 47 23 14 34 41 29 2 10 24 32 39 43 30 6 37 7 18 46 15 40 31 36 28 19 17 27 20 12 11 13 21 48 45 35 4 26 42	49870	48,77%
eil51	50	2	2	1	2 000	253 350	8 006 695	00:02:38	44 45 21 16 32 14 25 13 19 4 47 49 38 11 2 22 31 8 24 46 5 10 50 29 20 35 36 3 28 26 48 7 43 23 6 18 33 39 30 34 9 27 51 12 37 15 17 41 40 42	693	62,68%
						444 900	15 638 451	00:04:47	10 44 1 26 31 28 20 21 34 30 39 33 45 17 12 46 38 29 35 36 3 22 8 7 48 6 32 11 49 15 37 19 40 41 13 25 14 24 43 23 27 51 2 16 50 5 47 18 4 42 9	682	60,09%

APÊNDICE G

att48	25	1	1	2	2 000	55 150	146 489	00:00:17	40 29 9 9 36 6 20 14 2 42 32 25 38 1 3 41 34 10 26 4 35 45 24 11 37 17 5 39 21 44 18 28 30 19 27 43 31 32 12 22 16 23 48 13 47 15 46 7	78006	132,70%
						52 900	99 613	00:00:15	6 19 27 9 25 35 45 24 39 36 7 8 41 34 33 28 18 31 22 16 3 23 11 21 14 5 29 42 10 26 4 2 48 40 1 38 15 46 37 17 43 47 32 13 12 20 44 30	69009	105,86%
eil51	25	1	1	2	2 000	55 975	113 826	00:00:19	16 36 35 20 31 8 37 33 39 10 9 38 5 11 1 3 28 23 43 24 25 19 45 32 48 26 7 47 18 13 41 40 42 4 6 46 15 44 12 51 27 50 21 29 2 22 14 17 49 30 34	806	89,20%
						64 200	169 835	00:00:22	3 26 18 41 47 12 21 45 33 10 1 22 28 7 23 4 42 40 19 49 30 9 16 6 24 48 2 35 29 37 44 17 51 5 38 34 39 15 13 25 7 11 20 36 8 32 46 14 43 31 50	1006	136,15%
att48	50	1	1	2	2 000	122 000	317 851	00:00:37	40 23 2 5 32 30 6 7 33 29 10 35 45 24 39 34 13 11 12 27 28 44 38 15 21 25 3 16 22 47 20 18 31 14 48 42 26 4 41 46 37 19 17 43 36 1 8 9	72646	116,71%
						104 900	262 378	00:00:32	38 7 28 19 46 15 47 13 48 26 5 40 1 44 36 30 6 37 17 43 39 32 24 10 45 35 4 42 3 23 12 9 8 22 16 41 34 2 29 11 18 27 20 14 25 21 33 31	66142	97,31%
eil51	50	1	1	2	2 000	112 400	239 536	00:00:37	17 49 34 21 38 27 7 26 28 20 32 51 13 40 37 33 29 35 2 11 46 23 24 25 4 41 19 42 12 6 48 1 22 3 36 43 14 18 5 9 30 50 16 31 8 47 44 15 45 39 10	866	103,29%
						106 600	292 857	00:00:36	18 51 32 17 37 15 45 49 21 31 8 26 7 23 27 28 3 36 35 20 1 48 11 2 29 34 38 12 13 40 33 39 10 30 50 16 22 6 14 19 42 44 4 47 5 9 46 43 24 25 41	781	83,33%
att48	25	2	1	2	2 000	55 475	477 759	00:00:19	8 16 34 39 47 12 20 43 27 30 7 31 44 18 37 19 17 6 28 36 46 40 5 42 35 4 41 22 3 23 25 13 11 15 38 9 1 14 26 2 29 48 21 24 45 10 32 33	65262	94,68%
						57 550	257 752	00:00:19	17 9 1 15 25 39 5 10 35 2 41 23 46 37 6 20 47 21 13 40 36 19 30 33 12 16 34 4 26 42 48 14 11 3 22 8 38 31 18 43 28 7 44 29 45 24 32 27	74528	122,33%
eil51	25	2	1	2	2 000	57 125	294 865	00:00:21	2 27 12 38 49 37 42 41 1 5 44 18 47 37 28 26 43 6 30 39 10 45 46 51 17 4 14 24 23 48 22 16 50 9 33 15 19 40 13 25 11 20 35 36 3 31 7 8 21 29 34	866	103,29%
						61 475	310 250	00:00:22	47 48 23 7 26 22 27 6 49 30 29 11 32 46 17 19 25 43 24 14 18 4 45 5 38 50 1 8 31 28 3 20 35 36 21 16 2 51 10 39 34 9 15 40 13 41 42 44 33 37 12	749	75,82%
att48	50	2	1	2	2 000	124 750	863 548	00:00:43	15 12 11 47 21 25 26 2 29 14 20 18 7 6 19 27 36 44 9 40 32 39 5 42 4 35 45 10 24 48 13 1 8 22 16 41 34 3 23 33 38 31 30 43 17 37 28 46	54323	62,05%
						142 850	4 673 327	00:01:23	36 19 38 8 16 22 1 9 7 28 6 33 15 3 34 39 32 24 42 2 10 45 35 4 26 48 21 30 27 37 18 40 12 11 23 14 29 5 13 46 31 44 17 43 20 47 25 41	62478	86,38%
eil51	50	2	1	2	2 000	114 050	791 924	00:00:43	46 4 42 25 51 32 1 27 48 26 31 28 29 21 34 49 15 19 40 41 18 47 39 38 11 8 22 2 9 10 30 20 35 36 3 16 50 5 12 37 33 45 44 17 13 14 6 24 43 7 23	728	70,89%
						173 300	2 825 557	00:01:21	32 29 35 36 3 31 22 27 6 48 23 43 25 13 19 18 38 1 28 20 21 16 46 34 24 7 26 8 47 41 40 12 50 9 10 49 5 37 44 15 33 45 42 17 4 51 11 2 34 30 39	760	78,40%
att48	25	1	2	2	2 000	55 050	205 622	00:00:17	38 12 11 21 19 6 30 17 43 33 8 1 22 16 34 14 25 39 23 40 15 46 31 36 27 37 28 18 44 41 2 42 32 24 26 4 35 45 10 48 3 20 47 13 5 29 9	62547	86,58%
						57 250	261 981	00:00:18	46 33 22 16 41 34 47 21 39 32 24 45 35 10 25 14 29 2 4 26 42 5 48 13 23 3 11 12 15 40 9 1 8 38 44 18 7 19 27 17 43 20 30 37 6 28 36 31	45849	36,77%
eil51	25	1	2	2	2 000	104 325	1 750 048	00:00:50	27 38 9 33 45 15 17 18 47 49 10 39 50 16 1 6 25 13 40 42 43 7 23 32 2 21 29 20 35 36 3 28 31 26 48 19 41 14 24 46 11 30 22 8 51 12 5 34 37 44 4	799	87,56%
						56 300	224 679	00:00:19	37 44 6 27 22 38 49 9 30 21 35 36 2 4 41 40 12 10 39 33 45 42 19 13 18 15 5 34 16 32 51 48 24 7 8 31 46 11 20 3 28 26 23 43 25 14 1 29 50 47 17	812	90,61%
att48	50	1	2	2	2 000	124 850	852 179	00:00:43	24 5 33 36 7 18 38 16 3 23 41 29 42 10 35 45 40 9 31 6 19 27 12 21 32 48 26 2 34 14 25 11 47 20 43 37 28 44 15 22 1 8 46 30 17 13 39 4	71314	112,74%
						243 800	2 161 640	00:01:27	7 9 40 15 12 11 3 16 5 35 45 32 39 14 23 22 1 8 33 36 43 27 6 28 47 25 34 41 29 2 4 26 21 20 30 17 19 37 44 31 38 46 24 10 42 48 13 18	63817	90,37%
eil51	50	1	2	2	2 000	130 150	571 697	00:00:46	16 49 5 37 45 33 39 30 34 38 46 21 29 3 28 31 26 8 1 47 18 4 17 19 40 41 13 25 14 24 43 7 23 48 27 32 20 35 36 50 51 6 12 42 44 15 10 9 11 22 2	637	49,53%
						202 400	3 642 227	00:01:39	15 17 2 16 30 10 37 47 24 6 46 32 38 49 9 21 29 22 27 48 26 31 7 23 43 25 18 4 13 41 19 40 42 44 12 51 11 39 34 50 20 35 36 3 28 8 1 14 5 33 45	699	64,08%
att48	25	2	2	2	2 000	97 375	2 410 816	00:00:49	20 12 46 7 6 27 43 36 31 44 47 2 4 10 42 48 5 38 1 22 16 41 25 13 11 15 40 9 8 3 23 39 32 24 26 29 14 21 33 18 28 37 19 17 30 34 45 35	68789	105,21%
						104 525	1 089 770	00:00:39	34 41 5 14 23 13 47 33 8 18 36 28 6 37 19 39 10 24 32 12 46 7 27 17 43 30 48 2 4 26 35 45 42 29 25 21 11 20 44 31 38 15 40 9 1 16 22 3	59827	78,47%
eil51	25	2	2	2	2 000	157 800	6 411 697	00:01:51	37 27 8 28 29 34 23 7 43 24 51 46 18 25 13 41 40 19 42 4 17 44 15 39 30 16 35 36 20 2 11 31 48 6 14 47 5 38 9 49 10 33 45 12 32 26 22 3 21 50	735	72,54%
						70 775	649 315	00:00:28	20 29 21 50 34 39 49 9 38 2 22 32 46 48 26 7 43 23 14 40 19 4 15 35 36 3 28 8 31 1 24 25 13 41 17 30 27 6 18 47 51 11 16 5 37 44 42 45 33 10 12	763	79,11%
att48	50	2	2	2	2 000	270 600	6 444 730	00:02:15	38 7 17 33 20 14 2 3 22 1 40 15 46 30 19 37 6 31 8 19 3 39 5 29 42 35 45 24 32 34 23 11 43 27 28 36 18 44 12 47 41 28 10 26 4 41 16	63036	88,04%
						115 850	939 460	00:00:41	38 20 17 37 30 32 5 45 35 4 26 42 41 16 8 9 11 14 29 48 21 13 12 33 15 40 1 22 3 34 25 39 24 10 2 23 47 46 31 18 36 28 19 27 43 6 7 44	59176	76,53%
eil51	50	2	2	2	2 000	122 600	4 467 960	00:01:20	33 39 4 46 51 6 24 26 8 22 1 32 29 50 12 18 19 40 41 13 5 2 36 9 10 45 44 37 47 38 30 34 11 2 23 43 47 38 30 34 11 28 3 35 20 21 16 49 17 42	764	79,34%
						134 500	6 139 358	00:01:41	15 10 39 30 34 9 47 19 42 44 49 11 24 23 7 1 16 50 38 5 37 4 25 14 43 48 27 51 46 2 29 33 45 18 6 8 26 31 28 22 32 21 3 36 35 20 12 13 41 40 17	770	80,75%

* Processador: intel(R) Core(TM) i7-9750H CPU @ 2.60GHz 2.59 GHz/ RAM instalada: 12,0 GB (11,9 GB utilizável)

APÊNDICE H

Fonte de variação	Nível		Efeito	Somatório quadrados	Graus de liberdade	Variância	Teste F	Confiança
	-1	1						
A	83,89%	78,46%	5,43%	0,0942	1	0,0942	3,7501	0,9428
B	80,82%	81,53%	0,71%	0,1669	1	0,1669	6,6422	0,9877
AB	81,25%	81,09%	0,16%	0,0001	1	0,0001	0,0034	0,0466
C	80,38%	81,96%	1,58%	0,1335	1	0,1335	5,3106	0,9755
AC	84,53%	77,81%	6,72%	0,0020	1	0,0020	0,0808	0,2229
BC	80,82%	81,53%	0,71%	0,0318	1	0,0318	1,2669	0,7355
ABC	79,00%	83,34%	4,34%	0,0601	1	0,0601	2,3933	0,8732
D	80,38%	81,96%	1,58%	0,9031	1	0,9031	35,9340	1,0000
AD	80,82%	81,53%	0,71%	0,0001	1	0,0001	0,0043	0,0518
BD	80,38%	81,96%	1,58%	0,1251	1	0,1251	4,9794	0,9708
ABD	80,65%	81,69%	1,04%	0,0178	1	0,0178	0,7082	0,5968
CD	80,38%	81,96%	1,58%	0,0673	1	0,0673	2,6793	0,8934
ACD	84,53%	77,81%	6,72%	0,0075	1	0,0075	0,2974	0,4126
BCD	80,82%	81,53%	0,71%	0,0091	1	0,0091	0,3632	0,4512
ABCD	79,04%	83,30%	4,26%	0,0581	1	0,0581	2,3110	0,8666
E	80,38%	81,96%	1,58%	0,7076	1	0,7076	28,1539	1,0000
AE	80,82%	81,53%	0,71%	0,0011	1	0,0011	0,0439	0,1653
BE	80,38%	81,96%	1,58%	0,0052	1	0,0052	0,2069	0,3492
ABE	84,53%	77,81%	6,72%	0,0016	1	0,0016	0,0621	0,1961
CE	80,38%	81,96%	1,58%	0,0316	1	0,0316	1,2580	0,7338
ACE	80,82%	81,53%	0,71%	0,0000	1	0,0000	0,0016	0,0322
BCE	80,38%	81,96%	1,58%	0,0028	1	0,0028	0,1124	0,2615
ABCE	81,66%	80,69%	0,97%	0,0726	1	0,0726	2,8869	0,9058
DE	80,38%	81,96%	1,58%	0,0115	1	0,0115	0,4584	0,4992
ADE	80,82%	81,53%	0,71%	0,0007	1	0,0007	0,0266	0,1291
BDE	80,38%	81,96%	1,58%	0,0024	1	0,0024	0,0942	0,2401
ABDE	80,65%	81,69%	1,04%	0,0521	1	0,0521	2,0748	0,8454
CDE	80,38%	81,96%	1,58%	0,0124	1	0,0124	0,4922	0,5145
ACDE	84,53%	77,81%	6,72%	0,0017	1	0,0017	0,0672	0,2037
BCDE	80,82%	81,53%	0,71%	0,0006	1	0,0006	0,0256	0,1267
ABCDE	80,44%	81,91%	1,47%	0,0069	1	0,0069	0,2745	0,3979
F	80,38%	81,96%	1,58%	0,0066	1	0,0066	0,2625	0,3898
AF	80,82%	81,53%	0,71%	0,0001	1	0,0001	0,0020	0,0359
BF	80,38%	81,96%	1,58%	0,0073	1	0,0073	0,2893	0,4074
ABF	84,53%	77,81%	6,72%	0,0709	1	0,0709	2,8199	0,9020
CF	80,38%	81,96%	1,58%	0,0001	1	0,0001	0,0039	0,0497
ACF	80,82%	81,53%	0,71%	0,0001	1	0,0001	0,0025	0,0393
BCF	80,38%	81,96%	1,58%	0,0203	1	0,0203	0,8071	0,6277
ABCF	80,65%	81,69%	1,04%	0,0491	1	0,0491	1,9523	0,8328
DF	80,38%	81,96%	1,58%	0,0122	1	0,0122	0,4870	0,5122
ADF	80,82%	81,53%	0,71%	0,0092	1	0,0092	0,3675	0,4535
BDF	80,38%	81,96%	1,58%	0,0143	1	0,0143	0,5709	0,5473
ABDF	84,53%	77,81%	6,72%	0,0587	1	0,0587	2,3342	0,8685
CDF	80,38%	81,96%	1,58%	0,0398	1	0,0398	1,5844	0,7873
ACDF	80,82%	81,53%	0,71%	0,0046	1	0,0046	0,1846	0,3311
BCDF	80,38%	81,96%	1,58%	0,0160	1	0,0160	0,6376	0,5725
ABCDF	81,66%	80,69%	0,97%	0,0030	1	0,0030	0,1193	0,2691
EF	80,38%	81,96%	1,58%	0,0073	1	0,0073	0,2908	0,4084
AEF	80,82%	81,53%	0,71%	0,0320	1	0,0320	1,2730	0,7366
BEF	80,38%	81,96%	1,58%	0,0179	1	0,0179	0,7120	0,5981
ABEF	84,53%	77,81%	6,72%	0,0081	1	0,0081	0,3216	0,4273
CEF	80,38%	81,96%	1,58%	0,0094	1	0,0094	0,3748	0,4574
ACEF	80,82%	81,53%	0,71%	0,0014	1	0,0014	0,0544	0,1837
BCEF	80,38%	81,96%	1,58%	0,0160	1	0,0160	0,6356	0,5717
ABCEF	80,65%	81,69%	1,04%	0,0035	1	0,0035	0,1373	0,2878
DEF	80,38%	81,96%	1,58%	0,0014	1	0,0014	0,0542	0,1834
ADEF	80,82%	81,53%	0,71%	0,0079	1	0,0079	0,3139	0,4228
BDEF	80,38%	81,96%	1,58%	0,0930	1	0,0930	3,7018	0,9412
ABDEF	84,53%	77,81%	6,72%	0,1445	1	0,1445	5,7494	0,9806
CDEF	80,38%	81,96%	1,58%	0,0327	1	0,0327	1,3014	0,7418
ACDEF	80,82%	81,53%	0,71%	0,0016	1	0,0016	0,0647	0,2000
BCDEF	80,38%	81,96%	1,58%	0,0080	1	0,0080	0,3164	0,4243
ABCDEF	80,44%	81,91%	1,47%	0,0228	1	0,0228	0,9083	0,6559
		Erro		1,6084	64	0,02513202		
		Total		4,9158	127			

APÊNDICE I

Corrida	Problema	Partículas	Inércia	Cognitivo	Social	Iterações sem melhoria
1	pr76	50	2	2	0,5	2000
2	eil76	50	2	2	0,5	2000
3	pr76	100	2	2	0,5	2000
4	eil76	100	2	2	0,5	2000
5	pr76	50	4	2	0,5	2000
6	eil76	50	4	2	0,5	2000
7	pr76	100	4	2	0,5	2000
8	eil76	100	4	2	0,5	2000
9	pr76	50	2	4	0,5	2000
10	eil76	50	2	4	0,5	2000
11	pr76	100	2	4	0,5	2000
12	eil76	100	2	4	0,5	2000
13	pr76	50	4	4	0,5	2000
14	eil76	50	4	4	0,5	2000
15	pr76	100	4	4	0,5	2000
16	eil76	100	4	4	0,5	2000
17	pr76	50	2	2	1	2000
18	eil76	50	2	2	1	2000
19	pr76	100	2	2	1	2000
20	eil76	100	2	2	1	2000
21	pr76	50	4	2	1	2000
22	eil76	50	4	2	1	2000
23	pr76	100	4	2	1	2000
24	eil76	100	4	2	1	2000
25	pr76	50	2	4	1	2000
26	eil76	50	2	4	1	2000
27	pr76	100	2	4	1	2000
28	eil76	100	2	4	1	2000
29	pr76	50	4	4	1	2000
30	eil76	50	4	4	1	2000
31	pr76	100	4	4	1	2000
32	eil76	100	4	4	1	2000
33	pr76	50	2	2	0,5	4000
34	eil76	50	2	2	0,5	4000
35	pr76	100	2	2	0,5	4000
36	eil76	100	2	2	0,5	4000
37	pr76	50	4	2	0,5	4000
38	eil76	50	4	2	0,5	4000
39	pr76	100	4	2	0,5	4000
40	eil76	100	4	2	0,5	4000
41	pr76	50	2	4	0,5	4000
42	eil76	50	2	4	0,5	4000
43	pr76	100	2	4	0,5	4000
44	eil76	100	2	4	0,5	4000
45	pr76	50	4	4	0,5	4000
46	eil76	50	4	4	0,5	4000
47	pr76	100	4	4	0,5	4000
48	eil76	100	4	4	0,5	4000
49	pr76	50	2	2	1	4000
50	eil76	50	2	2	1	4000
51	pr76	100	2	2	1	4000
52	eil76	100	2	2	1	4000
53	pr76	50	4	2	1	4000
54	eil76	50	4	2	1	4000
55	pr76	100	4	2	1	4000
56	eil76	100	4	2	1	4000
57	pr76	50	2	4	1	4000
58	eil76	50	2	4	1	4000
59	pr76	100	2	4	1	4000
60	eil76	100	2	4	1	4000
61	pr76	50	4	4	1	4000
62	eil76	50	4	4	1	4000
63	pr76	100	4	4	1	4000
64	eil76	100	4	4	1	4000

APÊNDICE M

Fonte de variação	Nível		Efeito	Somatório quadrados	Graus de liberdade	Variância	Teste F	Confiança
	-1	1						
A	163,45%	137,48%	25,97%	2,1584	1	2,1584	24,2076	1,0000
B	149,44%	151,49%	2,06%	0,4477	1	0,4477	5,0206	0,9715
AB	146,12%	154,81%	8,69%	0,2414	1	0,2414	2,7072	0,8952
C	146,19%	154,74%	8,54%	49,4240	1	49,4240	554,3158	1,0000
AC	153,70%	147,23%	6,47%	0,5382	1	0,5382	6,0362	0,9833
BC	149,44%	151,49%	2,06%	0,0018	1	0,0018	0,0204	0,1132
ABC	154,85%	146,08%	8,77%	0,2459	1	0,2459	2,7579	0,8983
D	146,19%	154,74%	8,54%	0,7246	1	0,7246	8,1268	0,9941
AD	149,44%	151,49%	2,06%	0,0243	1	0,0243	0,2725	0,3965
BD	146,19%	154,74%	8,54%	0,0571	1	0,0571	0,6400	0,5733
ABD	149,29%	151,64%	2,35%	0,0426	1	0,0426	0,4776	0,5080
CD	146,19%	154,74%	8,54%	0,0653	1	0,0653	0,7323	0,6047
ACD	153,70%	147,23%	6,47%	0,0186	1	0,0186	0,2089	0,3508
BCD	149,44%	151,49%	2,06%	0,1343	1	0,1343	1,5058	0,7757
ABCD	149,42%	151,51%	2,09%	0,0140	1	0,0140	0,1568	0,3066
E	146,19%	154,74%	8,54%	0,0023	1	0,0023	0,0262	0,1282
AE	149,44%	151,49%	2,06%	0,0043	1	0,0043	0,0485	0,1737
BE	146,19%	154,74%	8,54%	0,1158	1	0,1158	1,2984	0,7412
ABE	153,70%	147,23%	6,47%	0,0011	1	0,0011	0,0127	0,0894
CE	146,19%	154,74%	8,54%	0,0823	1	0,0823	0,9227	0,6596
ACE	149,44%	151,49%	2,06%	0,2026	1	0,2026	2,2725	0,8634
BCE	146,19%	154,74%	8,54%	0,0012	1	0,0012	0,0132	0,0912
ABCE	150,80%	150,13%	0,66%	0,1373	1	0,1373	1,5394	0,7808
DE	146,19%	154,74%	8,54%	0,0862	1	0,0862	0,9668	0,6708
ADE	149,44%	151,49%	2,06%	0,0943	1	0,0943	1,0576	0,6924
BDE	146,19%	154,74%	8,54%	0,1143	1	0,1143	1,2822	0,7383
ABDE	149,29%	151,64%	2,35%	0,0627	1	0,0627	0,7031	0,5951
CDE	146,19%	154,74%	8,54%	0,2512	1	0,2512	2,8174	0,9019
ACDE	153,70%	147,23%	6,47%	0,0000	1	0,0000	0,0000	0,0014
BCDE	149,44%	151,49%	2,06%	0,0146	1	0,0146	0,1635	0,3127
ABCDE	149,65%	151,28%	1,63%	0,0085	1	0,0085	0,0953	0,2414
F	146,19%	154,74%	8,54%	0,9422	1	0,9422	10,5673	0,9982
AF	149,44%	151,49%	2,06%	0,0017	1	0,0017	0,0195	0,1106
BF	146,19%	154,74%	8,54%	0,0124	1	0,0124	0,1393	0,2898
ABF	153,70%	147,23%	6,47%	0,1058	1	0,1058	1,1872	0,7200
CF	146,19%	154,74%	8,54%	0,1397	1	0,1397	1,5673	0,7848
ACF	149,44%	151,49%	2,06%	0,0899	1	0,0899	1,0086	0,6810
BCF	146,19%	154,74%	8,54%	0,0797	1	0,0797	0,8934	0,6519
ABCF	149,29%	151,64%	2,35%	0,1168	1	0,1168	1,3098	0,7433
DF	146,19%	154,74%	8,54%	0,0054	1	0,0054	0,0603	0,1931
ADF	149,44%	151,49%	2,06%	0,0007	1	0,0007	0,0077	0,0698
BDF	146,19%	154,74%	8,54%	0,0811	1	0,0811	0,9096	0,6562
ABDF	153,70%	147,23%	6,47%	0,7033	1	0,7033	7,8880	0,9934
CDF	146,19%	154,74%	8,54%	0,0678	1	0,0678	0,7600	0,6134
ACDF	149,44%	151,49%	2,06%	0,0757	1	0,0757	0,8487	0,6396
BCDF	146,19%	154,74%	8,54%	0,0027	1	0,0027	0,0298	0,1364
ABCDF	150,80%	150,13%	0,66%	0,0014	1	0,0014	0,0158	0,0996
EF	146,19%	154,74%	8,54%	0,0890	1	0,0890	0,9979	0,6784
AEF	149,44%	151,49%	2,06%	0,3037	1	0,3037	3,4062	0,9304
BEF	146,19%	154,74%	8,54%	0,0307	1	0,0307	0,3443	0,4406
ABEF	153,70%	147,23%	6,47%	0,0106	1	0,0106	0,1192	0,2690
CEF	146,19%	154,74%	8,54%	1,0247	1	1,0247	11,4921	0,9988
ACEF	149,44%	151,49%	2,06%	0,0275	1	0,0275	0,3080	0,4191
BCEF	146,19%	154,74%	8,54%	0,0064	1	0,0064	0,0723	0,2111
ABCEF	149,29%	151,64%	2,35%	0,0177	1	0,0177	0,1990	0,3429
DEF	146,19%	154,74%	8,54%	0,0070	1	0,0070	0,0780	0,2191
ADEF	149,44%	151,49%	2,06%	0,0277	1	0,0277	0,3110	0,4210
BDEF	146,19%	154,74%	8,54%	0,0734	1	0,0734	0,8234	0,6324
ABDEF	153,70%	147,23%	6,47%	0,1341	1	0,1341	1,5038	0,7754
CDEF	146,19%	154,74%	8,54%	0,0258	1	0,0258	0,2895	0,4076
ACDEF	149,44%	151,49%	2,06%	0,0135	1	0,0135	0,1517	0,3018
BCDEF	146,19%	154,74%	8,54%	0,2335	1	0,2335	2,6188	0,8895
ABCDEF	149,65%	151,28%	1,63%	0,0128	1	0,0128	0,1436	0,2940
		Erro		5,7064	64	0,08916218		
		Total		65,4875	127			

APÊNDICE N

População	Inércia	Cognitiva	Social	# iterações sem melhoria	# iterações	# avaliações	Tempo de computação	Solução	Avaliação	Desvio do ótimo	Média Desvio
25	1	1	1	500	28725	206150	00:00:14	3 23 14 8 9 12 39 32 24 5 34 41 16 40 11 33 38 31 7 19 6 36 18 46 21 10 45 35 4 26 42 2 29 48 25 1 28 37 27 17 43 30 47 13 20 44 15 22	59849	78,54%	59849
				500	18675	247402	00:00:13	34 5 26 24 39 46 27 37 18 31 9 15 3 16 33 20 14 29 48 13 12 43 17 6 28 44 38 1 8 22 40 47 25 41 2 4 35 45 23 11 21 32 10 42 36 19 30	75966	126,62%	75966
				500	23250	245541	00:00:13	33 46 7 22 8 38 30 17 20 11 21 45 4 26 34 14 23 3 19 31 19 6 28 36 18 44 32 39 48 42 10 2 29 41 16 25 5 35 24 13 47 37 27 43 40 15 12	68693	104,92%	68693
25	2	2	2	1000	76525	1993542	00:00:44	25 19 37 36 7 18 38 9 1 15 46 33 39 24 10 35 4 26 29 41 8 3 23 14 13 32 21 47 20 31 44 28 6 27 17 43 30 40 22 16 12 11 34 2 45 42 5 48	58869	75,61%	58869
				1000	52225	863984	00:00:23	34 38 31 44 47 14 25 39 32 48 29 2 26 4 35 45 10 5 41 20 17 7 18 1 22 3 23 11 12 36 30 37 43 21 13 33 46 15 40 9 8 19 27 6 28 24 42 16	65816	96,34%	65816
				1000	42450	524887	00:00:17	20 36 28 7 44 38 22 14 43 17 37 12 40 16 5 29 2 42 26 4 35 45 10 24 39 48 41 11 47 15 46 9 1 8 31 18 6 19 27 30 33 21 32 34 3 23 25 13	58109	73,35%	58109
				1500	82900	7103324	00:01:50	16 15 28 37 36 7 44 31 38 1 40 3 34 14 39 32 5 29 2 42 24 10 26 4 35 45 48 41 13 21 20 46 30 47 23 22 8 9 43 17 27 19 6 25 11 12 33 18	59642	77,92%	59642
25	3	3	3	1500	113525	7714301	00:01:45	21 1 8 16 48 25 20 6 37 28 7 38 41 29 2 45 42 9 31 18 30 46 33 12 15 40 22 3 13 39 32 24 5 23 11 47 43 17 27 19 36 44 14 34 10 35 4 26	71511	113,33%	71511
				1500	120425	10378598	00:02:10	41 23 31 38 1 40 3 16 46 15 13 14 5 32 21 11 36 6 27 17 43 30 20 10 45 35 26 33 28 7 44 8 22 34 48 39 25 47 19 37 18 12 24 42 4 29	70553	110,47%	70553
				1000	55950	228289	00:00:20	7 18 8 23 47 25 35 26 2 29 34 41 9 12 20 43 27 30 36 15 42 4 45 10 24 48 32 13 14 3 22 16 1 40 6 19 28 44 31 38 5 39 21 46 11 33 37 17	68529	104,43%	68529
50	1	1	2	1000	59100	177666	00:00:19	39 21 30 37 17 20 22 41 26 4 35 5 48 47 27 19 28 18 3 23 15 46 31 7 6 33 12 11 13 38 1 16 34 14 25 32 42 2 8 44 36 43 9 40 29 10 45 24	75422	124,99%	75422
				1000	57500	300051	00:00:20	30 27 7 15 20 5 29 22 1 8 38 9 40 23 41 34 14 13 21 32 39 25 3 16 33 11 47 48 2 42 10 45 35 4 26 24 12 46 31 44 18 6 37 19 17 43 28 36	54454	62,44%	54454
				1500	105250	1490894	00:00:46	4 35 45 12 44 18 6 43 40 14 2 24 32 11 33 30 17 27 36 9 8 16 41 23 46 37 19 20 47 25 39 48 5 34 3 13 21 15 28 7 31 38 1 22 29 42 10 26	67133	100,27%	67133
50	2	2	3	1500	88000	3620486	00:01:04	31 44 30 37 19 27 17 43 32 5 29 13 12 15 36 6 18 9 40 34 41 2 48 39 24 45 35 4 26 10 42 14 38 8 1 16 22 3 23 25 21 47 11 20 33 46 28 7	54412	62,32%	54412
				1500	83300	656725	00:00:42	4 26 2 24 32 34 41 16 22 1 8 9 38 31 46 27 6 28 18 44 12 11 47 13 39 45 42 29 5 48 25 14 23 3 43 17 19 37 30 7 36 33 15 40 20 21 10 35	53599	59,89%	53599
				500	52850	5072530	00:01:17	43 12 23 25 48 42 2 13 21 20 40 5 39 32 29 8 33 44 31 37 6 18 36 46 19 47 11 15 38 9 1 16 22 3 35 10 24 45 4 26 14 34 41 27 17 28 7 30	71723	113,96%	71723
50	3	3	1	500	132100	8463785	00:02:43	25 42 10 24 45 35 4 26 2 29 3 23 30 37 43 21 32 39 48 5 14 34 41 16 22 1 8 38 9 40 15 12 11 47 33 46 31 44 18 28 27 17 19 6 7 36 20 13	46028	37,31%	46028
				500	54450	5721380	00:01:34	20 33 30 27 19 46 15 12 38 40 1 3 22 5 16 21 13 2 29 41 34 10 45 4 35 26 42 43 36 44 9 8 39 32 14 31 7 18 23 48 24 25 47 11 28 37 6 17	78494	134,16%	78494
				1500	174375	5491457	00:02:17	45 35 10 42 34 2 22 16 1 38 18 46 15 40 23 14 48 26 4 2 29 41 13 9 44 7 36 28 30 43 17 27 19 37 6 31 8 12 33 20 47 11 21 25 5 39 32 24	50454	50,51%	50454
75	1	2	1	1500	194850	2618707	00:01:21	28 46 47 29 42 10 35 45 24 32 39 14 3 40 15 33 6 7 18 44 31 38 8 16 22 1 9 12 21 13 34 41 2 4 26 5 48 25 23 11 20 30 43 17 27 19 37 36	48950	46,02%	48950
				1500	169275	1605416	00:01:06	7 28 17 19 37 44 46 25 48 5 42 32 21 20 15 40 9 8 1 16 22 3 41 34 14 23 33 30 43 27 6 38 13 24 10 45 35 4 26 2 29 39 47 11 12 31 18 36	51841	54,65%	51841
				500	138825	7215668	00:01:46	34 3 40 15 9 38 31 44 28 6 37 19 27 17 43 30 36 7 18 46 33 47 21 13 14 25 39 32 48 24 10 35 45 26 4 2 41 16 22 1 8 20 12 11 23 29 42 5	42418	26,54%	42418
75	2	3	2	500	123750	5473005	00:01:27	42 39 12 17 27 6 28 36 44 33 40 22 16 14 48 26 4 32 25 23 3 1 8 38 7 37 19 43 30 15 11 13 21 47 20 46 18 31 9 41 34 29 2 24 45 35 10 5	58142	73,44%	58142
				500	73050	4669636	00:01:04	28 20 47 32 48 42 24 10 45 35 4 26 29 25 21 11 15 31 7 36 30 43 17 27 6 33 12 40 8 16 22 3 34 41 2 5 39 13 14 23 46 44 37 19 18 9 1 38	52452	56,47%	52452
				1000	127800	4500465	00:01:19	48 46 40 22 41 29 11 30 37 19 27 17 43 6 7 44 9 12 3 34 14 25 47 20 33 31 1 23 5 42 4 26 10 24 39 13 15 36 28 18 38 8 16 21 32 45 35	63058	88,11%	63058
75	3	1	3	1000	130125	5262340	00:01:27	3 16 1 8 9 38 7 28 19 40 41 34 23 13 21 47 33 30 43 37 36 18 44 46 25 48 26 4 35 45 39 22 12 20 17 27 6 31 15 11 32 10 42 2 29 5 14	59110	76,33%	59110
				1000	103725	2097077	00:00:50	3 14 21 39 48 34 7 37 17 6 36 9 8 16 22 15 28 20 47 24 45 35 4 26 42 2 29 5 25 40 18 30 43 33 12 11 23 13 32 10 41 1 46 27 19 44 31 38	65558	95,57%	65558

APÊNDICE O

1000	29275	290789	00:00:12	22 8 9 31 18 44 5 4 32 21 34 1 46 19 37 38 41 2 42 35 45 24 47 20 11 23 25 3 6 43 17 27 30 28 7 36 33 15 12 40 16 14 48 29 26 10 39 13	71991	114,76%				
25	1	3	3	1000	50700	2234726	00:00:36	44 7 30 36 20 47 15 33 46 3 14 48 29 2 26 4 35 45 42 34 19 6 28 18 31 38 9 8 1 41 5 10 25 13 23 11 21 39 24 32 12 43 17 27 37 40 22 16	62688	87,01%
				1000	61425	977533	00:00:27	48 25 13 34 3 16 1 15 46 38 31 7 36 43 17 27 19 37 6 30 20 12 40 23 41 29 2 26 39 21 47 11 18 44 9 8 22 14 32 24 10 45 35 4 42 5	50153	49,61%
				1500	55275	606488	00:00:22	28 37 19 27 17 43 30 7 18 47 24 10 45 35 4 26 42 2 29 5 48 32 39 34 14 11 15 36 44 31 38 9 1 40 46 12 21 13 25 23 3 41 16 22 8 6 20 33	48221	43,85%
25	2	1	1	1500	63350	1147274	00:00:28	17 43 30 36 44 20 39 24 5 25 11 40 15 27 19 28 18 12 47 21 13 48 29 23 2 22 16 41 34 10 45 35 4 26 2 42 32 14 9 8 1 38 31 46 33 7 6 37	55455	65,43%
				1500	53025	1093166	00:00:25	6 27 43 30 36 46 33 12 14 21 20 28 31 8 47 32 45 35 26 10 39 7 18 38 9 16 22 11 13 23 41 29 48 5 3 1 44 15 40 25 24 4 2 4 2 34 37 17 19	68556	104,51%
				500	34175	2269400	00:00:30	39 30 37 18 44 38 9 46 33 15 11 47 22 3 29 2 35 45 10 48 13 20 12 40 1 36 7 28 6 19 27 17 43 21 25 5 42 26 4 24 14 34 41 16 8 31 23 32	60243	79,71%
25	3	2	2	500	52550	3924267	00:00:49	39 20 15 8 7 37 43 36 18 44 38 9 1 14 24 32 17 19 6 30 12 11 3 16 22 40 31 28 27 33 47 25 10 26 4 2 42 35 45 48 5 13 23 29 41 34 46 21	68603	104,65%
				500	48725	2063659	00:00:32	22 9 30 43 17 27 19 37 6 28 7 36 46 33 41 14 39 32 21 47 11 12 38 31 44 18 20 15 40 1 8 16 23 13 25 5 24 45 35 4 26 10 42 2 29 48 34 3	46561	38,90%
				500	41250	519497	00:00:18	44 22 41 15 12 23 4 26 43 27 30 18 13 25 29 2 10 42 5 3 40 11 47 39 48 35 45 24 32 21 20 14 16 1 46 31 7 28 19 17 36 33 34 9 38 6 37	73970	120,66%
50	1	2	3	500	33500	1083870	00:00:24	12 30 27 6 37 19 17 43 28 7 44 8 1 41 32 24 10 5 29 34 3 13 47 11 15 46 40 9 16 2 4 35 25 14 23 38 31 36 20 21 39 48 26 45 42 22 18 33	66281	97,72%
				500	30500	355488	00:00:12	28 37 27 43 21 47 20 18 7 6 19 17 30 36 31 38 9 8 16 3 11 13 39 32 12 40 22 41 34 2 26 4 35 45 10 24 42 25 14 23 15 33 46 44 29 5 48 1	55933	66,85%
				1000	180350	6779033	00:01:55	47 13 21 32 39 48 5 42 24 10 45 35 4 26 2 29 3 11 12 20 46 31 44 18 36 30 43 17 27 19 37 6 28 7 33 15 40 9 38 8 1 22 16 41 34 25 14 23	37435	11,67%
50	2	3	1	1000	103000	3213793	00:01:20	14 11 33 46 18 7 36 20 47 21 13 25 23 22 1 38 31 44 28 30 43 17 27 19 37 6 12 15 40 9 8 16 3 41 34 39 32 48 5 29 2 4 26 35 45 10 24 42	42226	25,97%
				1000	135400	6013737	00:02:11	13 47 17 37 30 12 23 3 34 14 25 39 32 48 29 2 24 45 35 4 26 10 42 5 41 16 22 1 40 11 43 27 19 6 36 31 38 8 9 15 33 46 44 18 7 28 20 21	47932	42,99%
				1500	101800	3579055	00:01:28	19 37 31 8 3 34 11 40 15 36 43 20 24 10 45 35 26 29 21 47 46 23 14 2 4 42 39 25 13 41 16 22 44 6 30 32 48 5 12 33 18 27 17 28 7 38 9 1	70743	111,03%
50	3	1	2	1500	135850	2602432	00:01:33	38 8 16 22 19 31 44 7 37 19 27 17 43 30 6 28 18 46 12 13 32 42 5 29 2 26 4 35 45 10 24 48 39 21 47 20 15 40 11 25 14 34 41 3 23 33 36	43493	29,74%
				1500	113800	2775418	00:01:09	27 19 30 3 29 42 48 5 40 9 8 38 33 20 17 36 18 44 46 12 11 23 47 21 13 25 14 41 34 39 32 24 10 45 35 4 26 2 16 22 1 15 31 7 28 37 6 43	51770	54,44%
				1500	209025	2025502	00:01:22	41 40 44 7 28 19 27 46 12 20 21 48 5 42 24 45 35 4 26 2 34 3 1 8 38 31 37 17 6 36 33 11 22 16 14 39 47 15 9 18 30 43 23 13 25 32 10 29	59645	77,93%
75	1	3	2	1500	158175	1669446	00:01:02	25 5 29 2 10 45 35 4 26 42 24 30 6 28 20 47 13 14 23 16 22 40 11 12 15 46 43 17 27 19 37 7 18 31 8 1 3 41 34 48 39 32 21 33 36 44 38 9	51980	55,06%
				1500	142650	5372043	00:01:31	46 12 15 9 8 3 13 41 29 2 10 24 39 40 22 16 1 38 44 18 7 28 37 17 30 21 42 26 4 5 23 11 31 36 6 19 20 47 25 14 34 48 35 45 32 43 27 33	65687	95,95%
				500	72300	1376452	00:00:34	26 10 32 11 23 22 48 24 47 20 46 7 38 9 8 16 41 39 14 40 15 44 18 36 28 30 37 19 27 43 21 42 29 25 13 1 6 17 33 12 45 35 4 5 3 34 2	73108	118,09%
75	2	1	3	500	55800	618235	00:00:30	27 28 38 9 8 1 22 3 14 13 31 44 18 7 37 43 21 39 32 45 35 26 42 5 34 41 16 40 23 11 12 30 17 19 36 46 15 33 20 47 48 24 10 4 2 29 25 6	56680	69,08%
				500	76050	1841528	00:00:56	41 32 24 35 4 26 33 37 27 17 43 18 15 38 9 40 12 20 21 25 16 1 46 44 28 30 36 11 23 3 22 34 14 39 48 5 42 10 45 2 29 31 7 6 19 47 13	66174	97,40%
				1000	180075	12140005	00:02:49	44 21 32 13 30 17 19 37 6 18 20 12 23 14 34 16 8 46 43 27 28 36 7 31 15 40 1 22 3 11 29 2 26 4 35 45 10 24 42 5 48 39 25 41 47 33 38 9	55944	66,89%
75	3	2	1	1000	380625	20591871	00:05:27	43 17 19 37 30 28 7 20 11 25 2 26 4 35 10 24 5 29 23 40 15 36 6 18 44 31 38 9 8 16 41 48 42 45 32 39 21 47 13 14 34 3 22 1 12 33 46 27	51186	52,69%
				1000	301275	18647836	00:04:26	2 4 35 10 5 48 39 25 47 23 14 34 41 3 22 8 40 11 12 46 38 31 44 7 36 6 37 17 27 17 43 30 28 18 33 32 24 45 26 42 29 13 21 20 15 9 1 16	51120	52,50%

ª Processador: Intel(R) Core(TM) i7-9750H CPU @ 2.60GHz / RAM instalada: 12,0 GB (11,9 GB utilizável)

APÊNDICE P

População	Inércia	Cognitiva	Social	# iterações sem melhoria	# iterações	# avaliações	Tempo de computação ^a	Solução	Avaliação	Desvio do ótimo	Média Desvio
30	1,2	1,5	0,5	600	70 860	1 815 933	00:00:50	33 7 28 36 15 11 2 10 42 48 21 13 12 40 22 16 41 3 1 8 9 38 31 46 20 23 14 5 24 45 35 4 26 32 39 47 44 30 43 17 27 19 37 6 18 34 29 25	58 073	73,24%	
				600	50 460	796 738	00:00:22	41 14 25 47 33 15 3 48 5 29 2 4 26 35 45 10 32 21 34 12 44 18 28 30 19 27 17 43 6 7 46 40 8 16 23 13 39 24 42 11 20 37 36 31 38 9 1 22	55 160	64,55%	69,11%
				600	84 030	1 026 516	00:00:33	28 6 19 27 17 43 29 2 26 4 35 45 10 42 39 25 34 41 3 23 46 31 44 7 36 33 20 47 21 32 24 48 11 40 30 37 18 38 8 16 22 19 15 12 13 14 5	56 837	69,55%	
				1 000	178 020	8 168 602	00:02:05	48 42 24 10 26 4 2 29 5 21 14 3 40 15 36 7 37 17 20 32 45 35 39 13 33 28 18 44 23 25 34 41 16 22 1 8 46 30 43 27 19 6 31 38 9 12 11 47	57 154	70,50%	65,61%
30	2	3	1	1 000	80 340	4 322 459	00:01:04	21 47 20 46 12 11 13 14 29 2 10 42 34 40 33 44 36 30 43 17 27 19 37 6 28 7 18 31 38 8 19 15 23 3 22 16 41 5 24 45 35 4 26 48 32 39 25	45 877	36,86%	
				1 000	106 200	4 783 377	00:01:14	28 31 8 9 12 20 39 25 3 34 29 2 48 24 45 35 4 5 38 44 18 6 17 19 37 7 1 42 26 10 32 21 13 23 11 47 43 27 30 15 40 22 16 41 14 33 46 36	63 517	89,48%	
				1 400	103 920	8 960 560	00:01:56	15 40 9 46 30 43 17 27 19 37 18 31 1 22 16 8 38 7 28 20 12 11 34 21 24 10 45 35 4 2 5 48 39 25 41 3 23 33 44 36 6 47 13 14 29 42 26 32	58 041	73,14%	
30	2,8	4,5	1,5	1 400	85 590	5 812 287	00:01:17	11 13 21 26 4 2 3 16 41 34 25 39 24 45 35 10 42 29 5 48 32 14 23 22 9 40 15 12 20 33 46 18 7 28 6 30 43 17 27 19 37 36 44 31 38 8 47	47 795	42,58%	79,25%
				1 400	66 090	7 378 240	00:01:24	36 14 21 37 6 30 23 22 9 44 18 28 33 46 12 2 26 35 10 29 32 48 34 3 13 15 40 25 47 11 38 1 16 41 5 42 4 45 24 39 8 20 7 17 43 27 19 31	74 431	122,04%	
				1 000	192 650	2 831 059	00:01:38	41 23 47 20 43 19 37 31 1 13 39 5 2 26 4 35 45 10 42 48 25 36 18 28 30 21 32 24 29 34 14 11 33 46 7 44 38 9 22 16 3 40 15 6 27 17 12 8	60 844	81,50%	
50	1,2	1,5	1	1 000	90 550	867 305	00:00:49	38 31 36 19 30 20 21 14 5 39 32 24 4 26 42 48 7 33 46 15 40 22 16 41 3 23 13 17 27 37 28 44 1 34 25 10 45 35 2 29 11 12 43 6 7 18 9 8	60 080	79,23%	85,26%
				1 000	125 900	2 529 043	00:01:01	7 25 48 5 38 8 1 16 41 34 23 11 20 19 32 39 42 2 29 13 15 46 18 47 21 24 45 35 4 26 10 12 33 30 36 40 14 3 22 9 31 44 6 37 27 17 43 28	65 382	95,04%	
				1 400	158 150	7 090 192	00:01:53	28 36 47 23 1 9 31 38 8 41 2 10 35 45 24 42 48 5 29 34 3 13 39 21 11 20 43 17 27 30 46 15 12 32 26 4 25 14 16 22 40 33 44 18 7 37 19 6	56 241	67,77%	
50	2	3	1,5	1 400	97 900	2 263 363	00:00:54	6 37 19 17 30 36 18 46 8 1 3 23 25 13 47 11 12 15 33 44 31 38 9 40 22 16 41 34 14 39 48 5 29 2 42 10 26 4 35 45 24 32 21 20 43 27 28 7	40 963	22,20%	38,37%
				1 400	122 450	3 575 145	00:01:09	40 23 11 47 21 39 25 14 34 5 48 45 35 4 26 2 29 42 10 24 32 13 9 38 8 1 22 16 41 3 12 20 33 31 44 18 7 30 43 17 27 19 37 6 28 36 46 15	41 946	25,13%	
				600	84 400	7 384 007	00:01:44	5 32 21 15 36 7 37 19 17 43 30 33 40 9 1 8 38 31 44 18 28 20 12 47 29 4 10 24 45 35 26 2 41 34 25 23 46 6 27 11 3 16 22 14 13 39 48 42	55 378	65,20%	
50	2,8	4,5	0,5	600	287 450	24 042 995	00:05:06	45 10 24 42 48 14 40 9 1 8 38 46 33 20 12 11 23 3 22 16 41 13 47 15 31 44 7 36 30 43 17 27 19 37 6 28 18 21 32 39 25 34 5 29 2 26 4 35	42 578	27,02%	44,11%
				600	258 400	22 289 233	00:04:53	4 26 2 42 48 5 34 40 9 31 44 15 12 11 47 16 22 8 1 38 20 33 46 28 18 36 7 19 17 43 27 30 37 6 21 13 14 25 23 3 41 29 39 32 24 10 45 35	46 970	40,12%	
				1 400	344 890	10 060 042	00:03:14	6 27 17 30 12 47 21 32 39 25 13 14 34 5 48 42 4 10 45 35 4 26 2 29 41 16 22 1 8 9 38 31 44 7 18 46 40 33 28 36 15 3 23 11 20 43 37 19	42 487	26,74%	
70	1,2	3	0,5	1 400	503 930	20 512 834	00:05:36	11 40 9 38 36 30 43 27 18 31 8 1 22 16 41 34 29 2 42 26 4 35 45 4 26 2 29 42 10 24 32 21 47 20 17 19 37 6 28 7 44 46 33 12 13 39 48 5 25 14 3 23 15	43 129	28,66%	31,06%
				1 400	244 720	6 064 627	00:02:06	6 20 25 29 42 24 10 45 35 4 26 2 41 3 15 46 31 44 7 18 33 12 47 21 13 23 11 40 9 38 8 1 22 16 34 5 48 32 39 14 36 28 37 19 17 43 30 27	46 183	37,77%	
				600	201 600	17 950 357	00:03:41	13 17 27 6 44 16 3 23 14 48 42 2 41 9 38 28 43 33 20 11 21 39 5 24 10 26 4 45 35 32 29 25 47 30 37 19 8 1 22 34 40 12 46 36 7 18 31 15	64 982	93,85%	
70	2	4,5	1	600	197 820	8 188 143	00:02:14	10 20 33 46 30 43 17 27 19 37 6 28 36 7 18 44 31 38 9 15 12 21 39 32 24 25 13 47 11 23 40 1 8 16 22 32 41 34 14 48 5 29 2 26 4 35 45	42 889	27,94%	64,45%
				600	258 160	23 768 451	00:04:47	31 44 7 46 47 32 26 4 35 45 10 24 42 29 34 22 3 21 11 20 12 15 33 37 17 27 30 28 38 9 8 16 41 2 5 48 14 13 40 36 18 6 19 43 39 25 23 1	57 507	71,55%	
				1 000	216 300	10 331 432	00:02:35	46 7 6 19 17 43 28 20 23 25 42 10 35 45 24 32 14 47 12 30 36 18 31 38 9 22 16 3 40 15 33 27 37 44 8 1 11 34 41 29 2 4 26 5 48 39 21 13	54 180	61,63%	
70	2,8	1,5	1,5	1 000	184 660	8 883 576	00:02:14	47 20 36 12 11 25 3 22 1 8 9 15 33 34 41 29 2 26 4 35 45 10 24 42 48 5 16 40 38 18 7 28 30 43 17 27 19 37 6 21 13 23 44 31 46 14 32 39	51 907	54,84%	59,98%
				1 000	163 730	6 990 511	00:01:53	12 33 43 28 36 44 31 8 1 15 11 47 48 24 10 45 35 4 26 34 3 23 13 20 18 7 37 19 17 27 30 6 38 46 21 39 25 14 22 16 41 29 2 42 5 32 40 9	54 796	63,46%	

APÊNDICE Q

1 000	62 550	3 033 563	00:00:46	44 36 37 19 17 27 6 28 15 40 1 8 16 22 11 33 18 7 30 43 21 39 32 24 42 10 45 35 4 26 2 29 34 41 3 14 25 13 47 12 9 31 46 20 48 5 23 38	50 354	50,21%				
30	1,2	4,5	1,5	1 000	40 230	686 838	00:00:18	45 35 12 33 81 22 16 34 29 2 42 24 32 47 23 3 46 36 30 43 17 27 19 37 6 28 7 18 44 31 38 9 40 15 20 11 14 13 21 39 48 5 25 41 4 26 10	50 930	51,93%
				1 000	102 360	3 058 523	00:00:56	18 46 40 3 23 43 27 37 36 31 38 15 9 8 1 13 48 5 29 2 42 10 24 32 39 21 47 20 33 22 16 41 34 14 25 11 12 44 6 19 17 30 26 4 35 45 28 7	59 293	76,88%
				1 400	177 780	7 127 897	00:01:55	9 1 16 48 5 13 23 11 12 20 6 37 27 30 7 38 15 47 21 39 25 40 8 22 41 34 29 2 42 24 10 26 4 35 45 32 14 3 46 36 43 17 19 28 18 44 31 33	52 489	56,58%
30	2	1,5	0,5	1 400	251 610	7 011 358	00:02:17	33 36 31 9 8 1 22 40 15 12 20 28 6 37 19 27 17 43 30 7 18 44 46 38 16 3 23 13 13 21 39 48 5 42 26 4 35 45 10 24 32 25 14 29 2 41 34 47	43 923	31,03%
				1 400	172 410	6 644 599	00:01:49	5 25 13 15 44 31 38 9 8 41 34 21 24 42 10 45 35 4 26 2 29 48 39 14 3 20 36 18 46 33 12 11 23 22 16 1 40 7 37 19 27 17 43 30 28 47 32	50 947	51,98%
				600	39 990	4 329 198	00:00:50	31 8 9 44 15 40 46 25 16 38 18 7 28 12 20 41 35 42 10 4 26 5 34 29 11 36 27 37 19 17 32 3 1 23 13 39 48 7 24 45 14 21 47 22 6 30 33 43	83 045	147,73%
30	2,8	3	1	600	66 360	5 607 874	00:01:10	33 11 48 29 16 22 47 4 35 45 26 74 32 39 13 21 8 43 27 37 19 30 17 6 31 15 9 23 3 2 10 42 5 20 25 14 34 41 40 38 12 28 7 18 36 46 44 1	70 759	111,08%
				600	62 610	5 405 385	00:01:09	31 7 22 5 24 35 45 2 15 40 21 32 13 16 1 8 38 44 18 37 27 19 6 43 17 28 30 20 39 48 10 4 26 42 29 14 25 47 11 12 33 36 34 3 41 23 46 9	66 241	97,60%
				600	52 000	1 495 373	00:00:30	16 41 2 10 42 34 14 23 3 21 38 31 18 33 40 25 29 48 39 21 13 20 12 9 8 44 7 28 30 27 17 19 37 6 36 15 11 32 24 45 35 4 26 5 47 43 46	58 353	74,07%
50	1,2	3	1,5	600	63 600	2 230 493	00:00:40	29 25 3 23 13 21 47 12 15 33 37 44 38 1 16 11 24 45 35 4 26 10 42 32 39 48 5 41 22 8 40 20 46 31 7 36 28 19 27 17 43 30 6 18 9 14 34 2	53 777	60,42%
				600	62 250	2 566 218	00:00:42	19 30 36 32 39 42 10 26 4 2 29 5 41 34 23 20 33 40 9 38 31 44 7 28 27 46 8 1 16 22 3 25 13 21 47 11 15 6 37 17 43 14 48 45 35 24 12 18	58 950	75,85%
				1 000	232 150	16 160 928	00:03:40	36 30 28 18 46 33 15 9 40 3 34 23 11 13 47 21 25 48 5 29 2 42 26 4 35 45 10 24 32 39 14 41 16 22 1 8 38 31 44 37 19 27 17 43 6 7 12 20	41 304	23,21%
50	2	4,5	0,5	1 000	360 500	18 304 808	00:04:41	40 3 22 16 1 8 9 38 31 15 33 47 13 21 39 32 24 10 45 35 4 26 42 48 5 29 2 41 34 14 25 23 11 12 20 36 7 30 43 17 27 19 37 6 28 18 44 46	37 774	12,68%
				1 000	401 600	22 039 398	00:05:26	23 11 25 48 5 14 3 22 16 1 8 9 44 18 7 36 28 30 6 37 19 27 17 43 20 33 46 31 38 40 15 12 47 13 21 39 32 24 10 45 35 4 26 42 2 29 41 34	39 142	16,77%
				1 400	185 450	6 743 517	00:01:54	26 35 4 2 29 16 8 40 48 42 10 45 24 39 13 25 34 41 22 1 9 38 31 36 43 17 27 37 7 18 44 46 15 3 14 20 30 19 6 28 33 12 11 23 47 21 32 5	53 274	58,92%
50	2,8	1,5	1	1 400	151 650	4 398 451	00:01:26	40 41 29 2 4 26 42 24 25 14 1 46 44 43 12 47 39 13 23 11 8 22 3 34 48 45 35 10 5 32 21 20 33 36 6 19 37 18 31 9 16 15 30 17 27 28 7 38	61 212	82,60%
				1 400	176 200	6 587 357	00:01:53	46 13 25 5 29 42 48 39 34 41 16 1 9 15 47 36 28 37 19 27 21 32 24 10 45 35 4 26 2 14 23 3 22 8 40 11 12 20 33 44 7 30 43 17 6 18 31 38	50 447	50,49%
				1 400	200 550	4 575 026	00:01:39	7 28 37 6 20 33 46 9 1 22 3 29 5 48 42 24 39 47 13 25 14 34 23 40 12 43 17 27 19 30 36 18 44 31 15 11 21 32 10 45 35 4 26 2 41 16 8 38	48 114	43,53%
70	1,2	4,5	1	1 400	252 280	3 356 345	00:01:43	38 37 19 27 17 43 30 6 28 36 7 18 44 8 1 16 22 33 20 12 23 14 25 39 10 4 42 48 5 29 34 13 21 47 15 46 31 9 40 3 41 2 26 35 45 24 32 11	49 575	47,89%
				1 400	157 570	4 950 912	00:01:31	17 27 19 37 6 30 18 33 15 11 13 23 3 40 38 1 22 16 41 34 14 25 48 5 29 2 42 26 4 35 45 10 24 32 39 21 47 20 12 46 8 31 44 7 36 28 43	38 675	15,37%
				600	65 870	1 078 346	00:00:28	11 16 1 8 31 15 20 30 43 17 27 19 37 6 28 7 18 44 38 46 33 12 47 21 34 41 3 22 9 40 23 14 5 29 2 24 45 35 4 26 10 42 48 32 39 25 13 36	47 339	41,22%
70	2	1,5	1,5	600	90 930	3 774 547	00:01:01	28 36 31 9 40 15 12 10 26 4 35 45 24 5 29 2 41 34 3 23 13 14 25 48 42 39 32 21 20 46 38 8 1 16 22 11 47 33 44 18 7 30 6 37 19 27 17 43	46 711	39,34%
				600	135 870	5 575 995	00:01:31	6 30 18 20 47 21 32 23 8 31 28 27 17 43 39 48 24 4 29 34 38 36 33 12 13 25 14 3 41 16 1 9 11 42 10 45 35 26 2 5 22 40 15 46 44 7 37 19	62 237	85,66%
				1 000	335 930	21 723 961	00:05:02	16 1 8 9 40 11 23 14 25 47 20 12 33 38 31 44 18 36 30 43 17 27 19 37 6 28 7 46 15 13 21 39 32 24 10 45 35 4 26 42 2 29 5 48 34 41 3 22	37 370	11,48%
70	2,8	3	0,5	1 000	253 890	16 847 564	00:03:59	8 1 16 41 13 29 42 24 10 45 35 26 4 2 5 48 32 39 25 14 34 11 15 12 36 30 43 19 37 44 46 33 20 17 27 6 28 7 18 31 38 9 40 23 21 47 3 22	46 182	37,77%
				1 000	504 840	34 659 139	00:08:24	3 34 23 12 33 47 21 13 5 29 2 10 45 35 4 26 42 24 32 39 48 25 14 11 18 7 6 30 43 27 19 37 28 36 44 31 46 20 15 40 9 38 8 1 22 16 41	41 929	25,08%

^a Processador: Intel(R) Core(TM) i7-9750H CPU @ 2.60GHz / RAM instalada: 12,0 GB (11,9 GB utilizável)

APÊNDICE R

População	Inércia	Cognitiva	Social	# iterações sem melhoria	# iterações	# avaliações	Tempo de computação ^a	Solução	Avaliação	Desvio do ótimo	Média Desvio
700	211,050	5,898	327	00:01:58	9 22 16 25 13 47 18 7 28 46 11 21 32 24 10 45 35 4 26 42 2 29 5 48 39 14 34 41 3 23 40 38 31 44 36 30 6 37 19 27 17 43 20 33 12 15 1 8	43 362	29,35%	43 362	29,35%		
35	1,4	2,25	0,25	700	95 445	3 765 727	00:01:03	29 2 42 48 25 14 13 23 40 12 33 11 47 20 19 17 27 67 31 15 8 16 22 1 9 41 34 5 39 32 3 46 43 37 28 18 44 38 36 30 21 24 45 35 10 26 4	55 608	65,89%	45,58%
				700	145 495	3 922 766	00:01:23	35 45 10 24 32 21 47 20 46 44 31 38 9 40 22 16 41 34 29 5 48 25 14 3 23 12 43 27 19 37 28 7 18 8 1 11 15 33 36 6 17 30 13 39 42 2 26 4	47 437	41,51%	
				1 000	220 955	12 032 839	00:02:55	6 36 28 18 44 15 38 8 1 16 3 34 14 48 29 41 22 9 40 11 23 13 21 25 39 5 2 42 10 45 35 4 26 24 32 47 20 12 33 46 31 7 30 43 17 27 19 37	43 865	30,85%	
35	2	4,5	0,5	1 000	219 520	10 668 124	00:02:45	46 15 20 47 14 29 2 26 4 35 45 5 34 23 3 41 16 22 1 31 44 36 30 43 17 27 19 37 6 25 39 48 42 10 24 32 21 13 11 12 33 28 7 18 40 9 8 38	48 020	43,25%	37,57%
				1 000	181 965	9 599 226	00:02:23	16 8 1 9 33 46 44 18 28 30 43 17 27 19 37 6 20 47 21 32 10 4 26 3 22 40 38 31 7 36 15 12 11 23 13 25 14 34 5 48 39 24 45 35 42 2 29 41	46 462	38,60%	
				1 300	285 670	20 608 490	00:04:23	18 31 46 15 12 20 47 21 32 48 10 26 4 35 45 24 42 2 29 5 39 25 14 23 3 16 1 8 38 44 7 28 9 22 41 34 13 11 40 33 36 30 6 37 19 27 17 43	43 288	29,13%	
35	2,6	6,75	0,75	1 300	227 605	19 377 515	00:04:01	31 44 18 7 28 20 48 5 2 42 26 4 35 45 10 24 32 39 21 47 43 17 19 37 30 6 36 33 12 15 40 11 23 13 25 14 34 29 41 3 16 22 1 8 9 38 46	41 977	25,22%	33,48%
				1 300	228 095	20 789 841	00:04:37	47 18 7 38 8 1 15 12 11 20 33 36 28 6 30 43 17 27 19 37 44 31 46 9 40 41 34 5 39 24 45 35 10 32 25 13 16 22 23 14 29 2 4 26 42 48 21	48 972	46,09%	
				1 000	246 900	6 045 670	00:02:06	40 22 16 41 34 29 2 42 5 48 32 39 25 13 11 3 18 9 38 31 44 18 7 6 37 19 27 17 43 20 47 21 24 10 45 35 4 26 14 23 12 33 30 28 36 46 15	43 199	28,87%	
50	1,4	2,25	0,5	1 000	170 150	4 731 159	00:01:32	23 15 44 30 43 17 27 19 6 18 31 46 33 12 11 40 9 8 1 3 34 41 2 29 48 25 14 13 36 7 28 37 20 47 21 39 32 24 10 45 35 4 26 42 5 16 22 38	48 664	45,17%	37,61%
				1 000	243 400	4 935 843	00:01:54	3 19 38 27 17 33 20 47 21 24 10 45 35 4 26 42 2 29 41 16 22 8 40 13 32 39 48 5 34 14 25 23 46 31 36 28 30 43 19 37 6 7 18 44 15 12 11	46 524	38,79%	
				1 300	218 450	14 713 558	00:03:37	21 47 33 27 37 28 7 18 44 31 38 46 11 13 14 23 3 41 34 5 48 39 32 24 42 10 45 35 4 26 2 29 25 12 20 30 43 17 19 6 36 15 40 9 8 1 16 22	44 922	34,01%	
50	2	4,5	0,75	1 300	270 700	15 026 871	00:03:36	36 44 31 15 40 11 12 33 20 30 43 37 28 46 38 9 1 16 41 2 29 5 48 39 32 24 10 45 35 4 26 42 34 14 25 13 21 47 23 3 22 8 18 7 19 17 27 6	43 655	30,23%	25,31%
				1 300	278 900	13 340 228	00:03:23	36 38 8 1 16 41 29 42 24 10 45 35 4 26 2 5 48 39 32 21 13 25 14 34 3 22 9 40 23 11 47 20 12 15 33 46 31 44 18 7 28 43 17 27 19 37 6 30	37 444	11,70%	
				700	82 300	5 736 806	00:01:17	38 15 37 17 43 19 27 30 36 18 33 28 46 7 6 20 11 41 22 8 1 12 47 23 34 45 26 4 35 48 32 21 39 24 42 5 10 29 2 14 25 13 16 3 9 31 44 40	63 926	90,70%	
50	2,6	6,75	0,25	700	142 550	10 492 436	00:02:12	12 46 18 7 27 33 8 36 28 43 17 37 6 19 30 41 29 48 5 2 42 4 35 26 10 24 45 32 23 3 1 25 20 44 22 9 38 15 31 16 40 34 14 13 39 21 47 11	65 078	94,14%	84,24%
				700	204 800	14 599 946	00:03:26	46 40 18 37 43 17 19 6 27 15 38 12 22 41 9 47 11 23 13 39 32 21 25 14 2 35 26 4 45 24 10 42 5 48 29 34 16 3 1 8 20 36 7 30 28 31 44 33	56 277	67,88%	
				1 300	562 445	22 863 302	00:06:31	35 10 48 14 34 3 22 16 41 29 2 42 5 32 21 47 13 23 11 40 1 8 9 38 31 46 33 20 30 27 17 43 19 37 6 28 36 7 18 44 15 12 25 39 24 26 4 45	42 638	27,19%	
65	1,4	4,5	0,25	1 300	389 025	14 553 869	00:04:09	47 40 3 34 41 16 22 1 8 9 38 31 44 18 7 28 37 19 6 36 46 15 23 14 13 21 39 32 24 10 45 35 4 26 42 2 29 5 48 25 11 12 33 30 27 17 43 20	39 550	17,98%	18,84%
				1 300	629 720	26 702 967	00:07:09	29 42 24 10 45 35 4 26 2 5 48 39 32 21 47 20 33 46 44 18 7 6 37 19 27 17 43 30 28 36 12 11 23 13 25 14 3 1 8 9 38 31 15 40 22 16 41 34	37 324	11,34%	
				700	294 970	22 477 380	00:04:49	33 34 41 16 22 40 46 36 27 19 37 28 7 18 44 31 38 9 8 1 14 25 48 5 29 2 42 10 26 4 35 45 24 32 39 21 47 13 23 11 20 30 43 17 6 15 12	41 639	24,21%	
65	2	6,75	0,5	700	255 970	17 286 082	00:03:52	46 15 12 21 20 19 30 43 17 27 37 6 28 36 33 11 47 13 39 29 2 26 4 35 45 10 24 42 5 48 32 25 34 41 3 16 22 1 8 44 7 18 31 38 9 14 23 40	45 038	34,35%	27,43%
				700	327 925	21 957 966	00:05:06	35 4 26 2 29 42 24 32 39 14 34 41 3 23 33 36 27 17 19 37 6 28 7 18 44 31 38 8 16 22 1 9 40 15 46 30 43 20 12 11 47 21 13 25 48 5 10 45	41 473	23,72%	
				1 000	225 030	11 842 598	00:03:00	1 40 15 23 34 3 8 9 38 33 12 11 47 21 13 25 39 24 45 35 4 26 10 42 2 29 5 48 32 20 46 31 44 7 6 30 43 17 27 19 37 28 18 36 14 41 16 22	43 820	30,72%	
65	2,6	2,25	0,75	1 000	190 450	9 792 462	00:02:28	7 18 33 15 12 14 34 40 1 9 46 36 28 37 17 27 30 20 47 13 11 23 3 22 16 41 5 39 32 24 10 45 35 4 26 42 2 29 48 25 21 44 31 38 8 43 19 6	48 121	43,55%	33,03%
				1 000	267 020	8 881 667	00:02:42	12 21 5 29 2 26 4 35 45 10 24 42 48 32 39 25 13 14 34 41 3 23 11 47 20 46 36 30 43 17 37 28 44 31 38 9 8 1 16 22 40 15 33 27 19 6 7 18	41 845	24,83%	

APÊNDICE S

1 000	88,585	2 961,241	00:00:53	17 27 19 37 6 30 28 36 46 33 15 21 25 14 1 9 23 13 32 39 48 5 42 24 10 45 35 4 26 2 29 34 41 16 22 3 11 47 20 12 40 8 38 31 44 18 7 43	40 373	20,44%				
35	1,4	6,75	0,75	1 000 101 780	4 692 032	00:01:12	43 27 37 18 12 15 9 1 40 23 25 14 34 41 29 2 4 26 42 5 48 32 21 36 30 17 19 6 28 7 44 33 46 31 38 8 16 22 3 11 13 10 35 45 24 39 47 20	48 769	45,48%	24,69%
				1 000 144 025	5 505 835	00:01:32	19 37 6 30 28 36 18 44 46 33 40 9 8 1 22 16 41 29 2 26 4 35 45 10 24 4 2 5 48 32 39 25 14 34 3 23 11 13 21 47 20 12 15 38 31 7 27 43 17	36 249	8,13%	
				1 300 250 425	12 370 855	00:03:05	46 43 30 6 31 33 20 12 23 3 22 15 7 18 28 37 19 17 27 36 44 38 8 9 40 11 47 13 25 21 32 39 5 2 10 24 45 35 4 26 42 29 48 14 34 41 16 1	47 128	40,59%	
35	2	2,25	0,25	1 300 196 350	8 615 188	00:02:35	8 1 22 16 14 25 5 24 39 47 20 36 27 38 9 40 41 32 42 2 4 26 45 35 10 48 29 11 44 6 37 17 43 30 28 46 21 7 15 12 33 18 19 31 23 13 34 3	65 941	96,71%	58,40%
				1 300 259 210	10 109 965	00:02:49	28 18 7 37 19 17 43 30 36 46 15 12 40 1 9 31 44 33 20 11 23 16 41 2 10 24 45 35 4 26 42 29 5 48 32 39 25 13 21 38 8 22 3 34 14 47 27 6	46 228	37,90%	
				700 141 155	12 178 293	00:02:32	27 17 12 15 29 2 10 45 35 4 26 42 8 31 44 11 13 21 47 20 40 1 38 9 30 6 7 18 46 3 22 16 23 41 34 25 24 48 5 32 39 14 33 36 28 37 43 19	59 691	78,07%	
35	2,6	4,5	0,5	700 176 960	13 564 121	00:02:55	37 7 33 12 22 16 1 8 38 9 40 15 46 20 47 11 13 25 14 23 3 41 34 5 29 2 26 4 35 45 10 24 42 48 39 32 21 31 44 18 36 28 6 19 27 17 43 30	40 368	20,42%	49,38%
				700 165 025	12 857 663	00:02:46	5 29 2 42 26 4 45 35 10 24 12 15 38 27 30 28 36 31 44 18 19 17 43 37 6 7 46 1 22 16 3 41 34 25 48 39 13 32 21 11 47 20 33 40 8 9 23	50 169	49,66%	
				700 105 250	2 685 140	00:00:54	21 28 18 44 31 38 9 3 11 33 36 7 6 37 19 27 17 43 30 20 47 13 14 34 41 16 22 8 1 40 15 46 12 23 25 39 32 24 10 45 35 4 26 42 2 29 5 48	42 058	25,46%	
50	1,4	4,5	0,75	700 96 600	5 014 782	00:01:15	41 16 22 3 13 21 48 45 35 42 29 34 14 40 9 1 8 38 31 46 15 12 33 44 18 7 36 30 43 17 27 19 37 6 28 20 47 11 23 25 5 39 32 24 10 26 4 2	44 670	33,26%	22,58%
				700 103 250	2 687 389	00:00:55	32 39 21 47 13 25 14 34 23 11 20 12 15 40 9 1 8 38 31 7 28 6 37 19 27 17 43 30 36 18 44 46 33 2 22 16 41 2 29 5 48 42 26 4 35 45 10 24	36 547	9,02%	
				1 000 467 550	24 627 755	00:06:28	37 19 27 17 43 30 6 28 36 18 15 40 47 21 32 39 48 5 34 41 1 8 9 38 31 44 7 46 33 12 11 23 29 2 10 24 45 35 4 26 42 25 13 14 3 16 22 20	44 532	32,84%	
50	2	6,75	0,25	1 000 241 250	14 190 772	00:03:58	22 25 14 13 48 42 24 10 45 35 4 26 2 29 5 39 32 21 47 15 44 7 36 6 37 30 19 27 17 43 28 18 20 12 33 46 31 38 9 40 11 23 3 1 8 16 41 34	42 192	25,86%	38,16%
				1 000 186 600	10 694 788	00:02:31	19 28 7 44 31 22 9 16 3 14 13 23 12 36 43 37 6 18 46 48 39 32 24 42 10 45 35 4 26 2 5 29 41 34 25 21 20 47 40 11 33 15 8 1 38 30 17 27	52 215	55,76%	
				1 300 400 000	18 246 403	00:05:05	24 32 39 48 5 42 29 34 3 23 14 25 13 21 47 11 12 20 33 46 30 7 18 44 31 9 22 16 41 40 15 36 6 37 19 27 17 43 28 38 8 1 2 26 4 35 45 10	44 504	32,76%	
50	2,6	2,25	0,5	1 300 317 800	12 391 856	00:03:27	16 41 14 23 13 25 39 32 21 47 12 15 40 1 38 7 28 30 43 17 27 19 37 6 36 44 46 33 20 9 8 22 3 5 48 42 26 4 35 45 24 10 2 29 34 11 18 31	46 209	37,85%	37,87%
				1 300 229 800	9 389 601	00:02:33	21 11 1 8 9 38 18 28 6 37 27 43 36 33 32 39 15 46 31 44 7 19 17 30 20 12 47 13 14 23 40 3 22 16 41 29 5 48 24 45 35 4 26 10 42 2 34 25	47 935	43,00%	
				1 300 312 195	16 736 600	00:04:13	40 15 12 47 20 33 46 30 43 17 27 19 37 6 28 36 7 18 44 31 38 9 8 22 16 41 34 29 2 42 26 4 35 45 10 24 5 48 39 32 21 13 25 14 23 11 3 1	36 055	7,56%	
65	1,4	6,75	0,5	1 300 329 875	20 917 788	00:04:37	3 34 41 29 5 48 24 39 32 21 47 20 12 15 33 46 36 7 28 6 37 19 27 17 43 30 18 44 31 38 8 1 40 9 22 16 2 26 4 35 45 10 42 25 14 13 23 11	40 706	21,43%	12,89%
				1 300 450 710	17 964 950	00:04:59	46 1 16 22 3 47 21 13 25 32 39 48 5 42 24 10 45 35 4 26 2 29 41 34 14 23 11 12 20 33 15 40 9 8 38 31 44 18 7 28 30 43 17 27 19 37 6 36	36 763	9,67%	
				700 207 415	6 293 103	00:02:22	3 30 19 37 28 7 18 15 40 8 38 31 44 6 27 17 43 36 46 47 13 23 14 39 32 48 5 34 41 29 2 26 4 35 45 10 24 42 25 21 20 33 12 11 9 1 22 16	46 544	38,85%	
65	2	2,25	0,75	700 224 120	9 131 444	00:03:01	14 40 1 8 38 6 43 17 27 19 37 30 7 18 44 31 9 12 11 23 3 22 16 41 34 29 2 26 4 35 45 10 24 42 5 48 39 32 21 13 47 20 33 36 28 46 15 25	41 012	22,34%	48,16%
				700 184 470	8 935 362	00:02:32	38 8 40 15 46 27 17 43 47 21 39 48 4 35 24 32 13 20 44 18 28 6 19 11 1 3 34 5 29 2 26 45 10 42 25 14 12 33 36 30 37 31 9 22 16 41 23 7	61 446	83,30%	
				1 000 741 000	40 758 897	00:11:16	31 44 18 36 28 37 19 27 17 43 30 6 7 20 47 21 32 39 48 5 42 26 4 35 45 10 24 2 29 41 34 14 23 11 12 33 15 40 9 38 8 1 16 22 3 25 13 46	38 873	15,96%	
65	2,6	4,5	0,25	1 000 313 950	21 539 557	00:04:41	41 34 14 2 29 5 42 4 26 35 45 10 24 48 13 25 39 33 31 44 18 36 19 37 47 17 6 28 30 7 46 12 40 22 19 38 8 16 3 15 23 11 47 20 21 32	49 136	46,58%	40,85%
				1 000 253 825	16 449 085	00:03:38	16 14 20 46 47 23 25 39 21 48 5 29 2 42 4 26 10 45 35 24 32 13 18 37 19 6 43 17 27 30 28 7 44 31 15 11 34 41 38 9 8 33 36 40 12 3 22 1	53 642	60,02%	

^a Processador: intel(R) Core(TM) i7-9750H CPU @ 2.60GHz RAM instalada: 12,0 GB (11,9 GB utilizável)

APÊNDICE T

População	Inércia	Cognitiva	Social	# iterações sem melhoria	# iterações	# avaliações	Tempo de computação ^a	Solução	Avaliação	Desvio do ótimo	Média Desvio
46	0,98	3,375	0,3	910	352 314	16 851 599	00:04:14	19 44 30 46 4 26 35 45 10 42 2 29 48 25 14 23 11 13 39 21 47 12 15 18 43 17 27 37 28 31 38 40 9 8 1 16 22 3 41 34 5 24 32 20 33 7 36 6	52 593	56,89%	32,11%
46	0,98	3,375	0,3	910	319 148	10 110 099	00:02:57	8 7 36 28 30 6 37 19 27 17 43 20 47 21 13 12 15 33 46 18 44 31 38 9 3 41 29 2 26 4 35 45 10 24 42 5 48 32 39 25 14 34 23 11 40 22 16 1	39 648	18,27%	21,16%
46	1,4	6,75	0,5	1 300	648 462	33 595 454	00:08:00	20 25 29 2 26 4 35 45 10 24 42 5 48 25 14 23 47 11 40 1 8 9 38 31 44 36 28 6 37 19 27 17 43 30 12 15 22 16 41 34 3 13 21 32 39	37 675	12,39%	23,60%
46	1,82	10,125	0,7	1 690	266 294	18 348 641	00:03:55	47 30 43 17 27 19 37 6 28 36 7 18 44 31 38 9 40 15 46 33 20 12 11 23 34 41 16 8 1 22 3 14 25 39 32 48 5 42 24 10 45 35 4 26 2 29 13 21	37 440	11,69%	46,73%
46	1,82	10,125	0,7	1 690	203 090	7 771 557	00:02:04	5 29 34 23 11 13 3 16 22 40 15 9 1 8 38 31 44 18 7 17 43 37 36 46 33 12 25 10 45 35 4 26 24 32 39 21 47 28 19 27 6 30 20 14 41 2 42 48	49 188	46,73%	6,90%
46	1,82	10,125	0,7	1 690	310 914	26 170 844	00:05:13	18 7 30 43 17 27 19 37 6 28 36 4 4 31 38 46 33 20 12 15 40 11 47 13 21 39 32 24 10 45 35 4 26 42 2 29 5 48 25 14 23 3 34 41 16 22 1 8 9	35 835	6,90%	18,32%
65	0,98	3,375	0,5	1 300	290 875	5 656 723	00:02:09	39 32 48 5 42 24 10 45 35 4 26 2 29 14 11 12 30 43 17 27 19 37 6 28 36 7 18 44 31 38 8 1 9 40 15 46 33 20 47 21 32 39 48 5 41 16 23	41 307	23,22%	19,48%
65	1,4	6,75	0,7	1 690	456 495	22 770 009	00:05:23	21 39 32 24 10 45 35 4 26 42 48 5 29 2 41 34 23 12 20 33 38 31 44 7 28 6 37 19 27 17 43 30 36 18 46 15 11 13 25 14 3 22 16 1 8 9 40 47	37 924	13,13%	5,89%
65	1,4	6,75	0,7	1 690	391 755	18 307 433	00:04:28	48 5 42 24 10 45 35 4 26 2 29 34 14 25 13 11 20 30 43 17 27 19 37 6 28 36 7 18 44 31 38 9 8 1 22 16 41 3 23 40 15 46 33 12 47 21 32 39	35 495	5,89%	13,01%
65	1,82	10,125	0,3	910	414 635	26 964 016	00:05:50	3 40 15 33 18 7 27 17 43 20 47 13 23 14 25 39 32 24 10 45 35 4 26 42 2 29 5 48 21 11 12 46 36 6 37 19 30 28 44 31 38 9 8 1 22 16 41 34	39 208	16,96%	16,18%
65	1,82	10,125	0,3	910	438 750	31 869 057	00:06:38	46 6 7 18 44 31 38 9 40 15 12 23 13 21 39 48 5 29 2 42 26 4 35 45 10 24 32 25 14 34 41 16 8 1 22 3 11 47 70 33 30 43 17 27 19 37 28 36	38 946	16,18%	13,41%
85	0,98	6,75	0,3	1 690	1 112 990	48 236 005	00:12:07	30 43 17 27 19 37 6 28 36 33 12 15 40 3 22 1 9 8 16 41 34 14 13 25 48 5 29 2 42 26 4 35 45 10 24 32 39 21 47 23 11 20 46 18 7 44 31 38	38 017	13,41%	29,08%
85	0,98	6,75	0,3	1 690	843 795	35 638 925	00:09:04	20 33 46 15 12 21 48 5 29 2 26 4 35 45 10 42 24 32 39 25 13 14 34 41 16 22 40 7 30 6 37 19 27 17 43 28 36 18 44 31 38 9 8 1 3 23 11 47	37 990	13,33%	60,52%
85	1,4	10,125	0,5	910	327 675	18 167 213	00:04:12	12 20 33 15 16 1 46 6 43 36 7 47 25 29 2 24 45 26 4 10 42 48 39 32 5 14 40 8 38 3 34 41 22 23 11 13 21 30 27 17 37 19 28 18 44 31 9	53 808	60,52%	7,34%
85	1,4	10,125	0,5	910	626 110	54 540 360	00:10:50	12 33 44 31 38 9 8 1 22 16 41 34 3 23 11 13 14 25 48 5 29 2 42 26 4 35 45 10 24 32 39 21 47 20 36 7 28 6 37 19 27 17 43 30 18 46 15 40	35 984	7,34%	8,48%
85	1,82	3,375	0,7	1 300	447 565	28 746 788	00:06:42	20 33 15 1 8 9 38 31 44 18 7 46 40 3 22 16 41 34 14 23 13 25 39 32 24 42 10 45 35 4 26 2 29 5 48 21 47 11 12 36 28 30 6 37 19 27 17 43	38 246	14,09%	3,99%
85	1,82	3,375	0,7	1 300	551 565	28 746 788	00:06:42	15 12 20 47 11 23 14 25 13 21 39 32 24 10 45 35 4 26 42 2 29 5 48 34 41 16 22 3 40 9 1 8 38 31 46 44 18 7 28 30 43 17 27 19 37 6 36 33	34 859	3,99%	12,45%
85	1,82	3,375	0,7	1 300	392 530	20 482 030	00:04:46	20 6 19 37 28 36 7 44 38 8 1 22 16 41 3 23 21 32 39 48 5 42 24 10 45 35 4 26 2 29 34 14 25 13 47 11 12 46 18 27 17 43 30 31 33 15 9 40	41 693	24,38%	6,14%
85	1,82	3,375	0,7	1 300	447 565	28 746 788	00:06:42	46 18 7 28 30 6 37 19 27 17 43 36 44 31 38 9 8 1 16 22 40 13 20 47 13 21 39 32 24 10 45 35 4 26 42 2 29 5 48 25 14 34 41 3 23 11 15	35 815	6,84%	49,07%
85	1,82	3,375	0,7	1 300	551 565	28 746 788	00:06:42	37 7 18 46 15 40 9 8 1 22 16 41 34 3 23 11 13 14 25 48 5 29 2 42 26 4 35 45 10 24 32 39 21 47 20 12 33 38 31 44 36 28 30 43 17 27 19 6	35 581	6,14%	47,54%
85	1,82	3,375	0,7	1 300	392 530	20 482 030	00:04:46	30 43 11 13 14 5 29 2 42 10 35 45 24 48 39 21 33 15 40 23 3 34 41 16 22 1 8 9 38 31 44 18 7 28 6 37 19 17 27 46 12 25 4 26 32 47 20 36	49 970	49,07%	44,61%
85	1,82	3,375	0,7	1 300	392 530	20 482 030	00:04:46	39 35 45 24 32 21 47 20 12 3 34 29 2 4 26 10 42 25 23 6 30 43 17 27 19 18 44 31 38 9 8 1 22 16 41 5 48 14 40 33 36 37 28 7 46 15 11 13	49 926	48,94%	47,54%
85	1,82	3,375	0,7	1 300	392 530	20 482 030	00:04:46	48 25 47 20 33 46 34 41 16 22 1 8 9 38 31 44 36 12 23 14 13 21 32 42 2 26 4 35 45 10 24 39 11 3 40 15 28 6 43 17 27 19 37 30 7 18 29 5	48 475	44,61%	

APÊNDICE U

1 300	180 550	6 434 173	00:01:46	47 20 33 15 40 3 23 14 25 13 11 12 46 36 30 43 17 27 19 37 6 28 7 18 44 31 38 9 8 1 22 16 41 34 48 5 29 2 42 26 4 35 45 10 24 32 39 21	34 716	3,56%				
46	0,98	10,125	0,7	1 300	227 470	10 800 988	00:02:37	30 43 17 27 19 37 6 28 7 31 38 8 1 9 40 22 16 3 14 25 13 21 39 32 24 10 45 35 4 26 42 48 5 29 2 41 34 23 11 47 20 12 15 33 46 44 18 36	35 715	6,54%
				1 300	164 220	6 817 305	00:01:44	9 8 1 22 16 41 3 23 13 21 32 39 48 5 42 24 10 45 35 4 26 2 29 34 14 25 11 47 20 12 40 15 33 46 30 43 17 27 19 37 6 28 7 18 44 31 38	34 963	4,30%
46	1,4	3,375	0,3	1 690	383 226	19 480 052	00:04:36	43 17 19 30 31 40 11 47 13 48 34 41 3 22 16 1 9 44 7 36 18 28 27 37 6 46 33 15 23 14 42 4 35 45 24 10 26 2 29 5 39 32 21 20 12 38 8 25	53 014	58,15%
				1 690	427 616	17 740 095	00:04:33	6 37 27 17 43 30 18 31 9 8 48 45 35 4 26 2 29 34 3 11 47 36 15 40 1 22 16 41 14 25 5 42 10 24 32 39 21 13 23 12 20 33 46 38 44 7 28 19	47 729	42,38%
				1 690	615 250	21 624 037	00:05:58	27 37 30 9 8 16 22 40 15 20 47 21 32 39 5 29 2 26 4 35 45 10 24 42 48 25 13 12 46 18 7 6 36 33 11 23 14 34 41 3 1 38 31 44 28 19 43 17	42 925	28,05%
46	1,82	6,75	0,5	910	270 020	17 265 847	00:03:45	16 22 3 41 29 2 26 4 35 45 10 24 42 25 11 40 46 30 43 17 6 28 7 18 44 20 21 32 39 48 5 34 14 23 13 47 12 33 15 9 38 31 36 27 19 37 8 1	45 280	35,08%
				910	335 110	22 968 002	00:04:53	45 35 10 7 29 5 48 39 25 13 11 23 14 34 41 16 22 3 40 9 1 8 38 31 46 15 20 36 18 28 30 43 17 27 19 37 6 7 44 33 12 47 21 32 24 42 26 4	38 096	13,64%
				910	246 146	13 452 742	00:03:05	10 45 35 4 26 42 2 29 14 25 13 21 47 20 12 11 23 40 38 46 36 30 43 17 27 19 37 6 28 7 18 44 31 33 15 9 8 1 16 22 3 41 34 5 48 39 32 24	37 316	11,32%
65	0,98	6,75	0,7	910	246 675	9 221 009	00:02:28	45 24 26 4 2 29 41 22 9 38 31 44 46 21 13 25 14 23 11 12 33 36 30 43 17 27 19 37 6 28 7 18 20 47 34 3 16 8 1 40 15 32 39 48 5 42 10 35	43 038	28,39%
				910	138 125	4 645 191	00:01:19	21 31 44 18 28 6 37 19 27 17 43 30 7 36 20 47 11 23 13 25 14 34 3 40 15 12 33 46 38 9 8 1 22 16 41 29 2 26 4 35 45 10 24 42 5 48 39 32	41 348	23,35%
				1 300	747 045	37 291 242	00:08:54	36 30 43 17 27 19 37 6 28 7 46 33 15 12 20 47 21 32 39 48 42 24 10 45 35 4 26 2 29 5 25 14 13 23 11 40 3 34 41 16 22 1 8 9 38 31 44 18	34 980	4,35%
65	1,4	10,125	0,3	1 300	315 705	18 205 172	00:04:06	34 14 25 13 12 15 46 31 44 18 7 28 6 37 19 27 17 43 30 36 20 33 40 23 11 47 21 32 39 48 5 42 24 10 45 35 4 26 2 29 3 9 38 8 1 22 16 41	37 599	12,16%
				1 300	512 720	28 998 365	00:06:35	12 22 16 1 8 9 15 20 47 21 13 14 25 39 32 24 10 45 35 4 26 42 2 29 5 48 34 41 23 11 3 40 38 33 36 7 28 30 6 37 27 43 17 19 18 44 31 46	40 468	20,72%
				1 690	359 385	12 840 484	00:03:32	27 6 36 44 31 38 8 40 15 33 46 18 7 28 37 19 17 43 30 20 12 11 47 13 48 42 24 10 45 35 4 26 2 29 5 39 32 21 25 14 23 3 34 41 16 22 1 9	40 914	22,05%
65	1,82	3,375	0,5	1 690	376 285	17 281 287	00:04:14	6 37 19 17 27 43 30 28 36 7 18 44 31 38 9 46 33 20 12 11 23 13 14 25 48 5 42 26 4 2 29 41 34 3 22 16 8 1 40 15 47 32 24 45 35 10 39 21	42 077	25,52%
				1 690	461 825	21 030 666	00:05:12	15 12 20 47 13 21 32 39 48 5 23 22 16 1 31 36 6 19 37 28 7 18 44 38 8 9 40 11 14 25 42 24 10 45 35 4 26 2 29 41 34 3 46 30 27 17 43 33	44 896	33,93%
				1 690	527 085	23 749 357	00:05:53	18 46 38 8 1 40 15 13 14 25 48 42 24 10 45 35 4 26 2 29 5 39 32 21 47 20 30 43 17 27 19 37 6 28 7 44 31 9 22 16 41 34 3 23 11 12 33 36	38 978	16,28%
85	0,98	10,125	0,5	1 690	556 495	31 786 436	00:07:11	2 4 26 42 5 14 23 11 12 20 33 46 18 7 28 30 43 17 27 19 37 6 36 44 31 38 9 40 15 47 21 39 32 24 45 35 10 48 25 13 3 22 1 8 16 41 34 29	39 888	18,99%
				1 690	614 380	30 539 451	00:07:16	30 43 17 27 19 37 6 28 7 18 44 31 38 8 1 9 40 11 13 25 14 23 3 22 16 41 34 48 5 29 2 42 26 4 35 45 10 24 32 39 21 47 20 12 15 33 46	34 638	3,33%
				910	465 290	19 993 894	00:05:03	6 36 38 40 11 32 39 14 3 41 16 22 8 31 46 15 20 47 5 48 24 10 45 35 4 26 42 2 29 34 1 9 44 18 7 28 37 19 37 30 33 12 23 25 13 21 43 17	49 199	46,77%
85	1,4	3,375	0,7	910	183 855	7 170 429	00:01:54	35 45 10 42 2 5 48 14 11 33 46 9 1 8 38 31 44 18 7 28 36 15 40 3 41 23 13 25 39 32 21 47 43 17 27 19 37 6 30 20 12 22 16 34 29 24 26 4	45 308	35,16%
				910	215 815	5 391 596	00:01:46	3 8 9 46 36 30 6 37 19 27 17 43 28 7 18 44 31 38 15 12 33 20 47 21 32 48 5 14 34 41 16 22 1 40 11 23 13 25 39 24 10 45 35 4 26 42 2 29	39 948	19,17%
				1 300	362 780	24 386 825	00:05:13	12 20 8 22 40 15 21 25 11 46 30 27 17 19 6 44 38 1 23 14 32 39 48 5 29 34 41 2 42 10 4 26 35 45 24 13 47 33 36 28 37 43 31 7 18 9 3 16	55 398	65,26%
85	1,82	6,75	0,3	1 300	1 183 115	76 617 529	00:16:39	22 16 41 23 14 25 48 5 29 2 26 4 35 45 10 42 24 32 39 21 13 34 3 8 9 38 31 44 7 28 30 43 27 17 19 37 6 36 18 46 1 11 47 20 33 15 12 40	39 872	18,94%
				1 300	746 130	49 133 158	00:10:37	48 5 23 11 12 40 1 22 16 41 34 42 24 10 45 35 4 26 2 29 25 39 21 47 20 33 15 31 7 6 37 19 27 17 43 30 28 36 18 44 46 38 9 8 3 14 13 32	42 467	26,68%

^a Processador: Intel(R) Core(TM) i7-9750H CPU @ 2.60GHz 2.59 GHz/ RAM instalada: 12,0 GB (11,9 GB utilizável)

APÊNDICE V

População	Inércia	Cognitiva	Social	# iterações sem melhoria	# iterações	# avaliações	Tempo de computação	Solução	Avaliação	Desvio do ótimo	Média Desvio
32	0,686	5,0625	0,42	1 040 156 864	3 558 698	00:01:22	21 13 48 5 29 2 26 4 35 45 10 42 24 32 39 25 14 23 11 12 40 9 38 31 44 18 7 30 43 17 27 19 37 6 28 36 46 8 1 22 16 41 34 3 15 33 20 47	36 671	9,39%	9,39%	35,50%
				1 040 157 600	6 239 417	00:01:50	26 35 45 10 24 48 5 13 12 6 37 19 27 17 43 30 28 7 18 44 31 38 8 40 11 23 14 25 29 2 42 39 32 21 47 20 33 36 46 15 9 1 22 16 3 41 34 4	44 052	31,41%	31,41%	
32	0,98	10,125	0,7	1 300 184 384	12 748 594	00:02:59	13 21 32 24 10 45 35 4 26 42 2 29 5 48 39 14 23 47 12 6 37 19 27 17 43 30 31 38 46 15 40 9 8 1 16 22 3 41 34 25 11 33 44 18 7 28 36 20	41 844	24,83%	24,83%	25,41%
				1 300 173 984	10 950 687	00:02:43	25 14 34 5 48 39 32 24 42 10 45 35 4 26 2 29 41 23 11 20 33 15 46 38 31 44 18 36 6 37 19 27 17 43 30 28 7 9 8 1 16 22 3 40 12 47 21 13	38 276	14,18%	14,18%	
32	1,274	15,1875	0,98	1 560 102 304	19 716 040	00:03:41	4 35 45 24 10 26 2 29 34 16 38 12 47 33 20 43 28 22 9 1 13 15 46 44 31 40 18 30 6 8 41 7 36 17 19 27 37 23 3 25 14 5 42 39 21 11 32 48	68 885	105,49%	105,49%	100,89%
				1 560 102 944	20 622 163	00:03:46	43 69 22 18 30 7 17 20 11 8 23 34 46 28 19 27 37 38 33 44 12 16 41 5 47 14 13 39 10 45 35 26 4 48 29 2 42 25 21 32 24 3 40 15 1 31 36	72 856	117,34%	117,34%	
				1 560 187 232	35 210 649	00:06:39	20 12 39 32 21 11 15 9 41 14 23 16 3 47 38 8 22 1 19 37 6 44 17 28 36 43 27 30 18 31 46 34 24 45 35 10 4 26 2 48 42 29 5 25 13 40 33	60 282	79,83%	79,83%	
46	0,686	5,0625	0,7	1 300 247 940	4 820 927	00:01:57	38 9 8 1 14 13 25 39 24 45 35 4 26 10 42 2 29 5 48 32 21 47 11 15 46 36 30 17 27 6 28 7 18 40 22 16 41 34 3 23 12 33 20 43 19 37 44 31	42 138	25,70%	25,70%	32,53%
				1 300 159 758	6 699 469	00:01:43	40 8 38 31 44 7 28 30 17 43 33 46 15 11 47 21 39 32 10 42 29 5 48 23 20 27 19 37 6 36 18 12 9 1 22 2 26 4 35 45 24 25 13 14 34 41 16 3	49 120	46,53%	46,53%	
46	0,98	10,125	0,98	1 560 119 370	3 112 798	00:01:03	22 16 41 14 25 5 48 39 21 20 12 1 8 9 38 18 7 28 6 37 19 27 17 43 30 36 44 31 46 33 15 40 11 47 13 23 34 29 2 26 4 35 45 10 42 24 32 3	41 278	23,14%	23,14%	21,74%
				1 560 219 880	10 858 480	00:02:41	34 41 24 32 39 21 20 46 44 18 6 37 19 27 17 43 30 28 36 7 31 40 3 22 16 1 8 9 38 15 33 12 11 47 13 23 14 25 48 5 42 10 45 35 4 26 2 29	41 301	23,21%	23,21%	
46	1,274	15,1875	0,42	1 040 148 902	21 097 039	00:03:52	33 44 36 7 27 20 15 38 31 46 18 17 43 30 37 19 28 40 47 41 48 25 21 39 32 24 10 26 35 4 45 5 29 6 11 23 2 42 34 3 12 9 8 1 22 16 14 13	67 313	100,80%	100,80%	87,68%
				1 040 147 660	21 722 981	00:03:53	45 10 39 12 33 15 46 7 3 23 11 17 19 30 28 9 8 38 1 16 5 48 34 14 21 36 6 27 18 37 43 44 31 40 29 41 22 47 20 13 25 32 24 2 2 26 4 35	63 758	90,20%	90,20%	
60	0,686	10,125	0,42	1 560 571 620	26 379 035	00:06:36	17 6 30 36 15 40 9 38 31 44 33 20 47 21 32 39 48 5 42 24 10 45 35 4 26 2 29 34 41 16 8 1 22 3 23 14 25 13 11 12 46 18 7 28 37 19 27 43	36 874	10,00%	10,00%	
				1 560 497 940	24 410 146	00:05:58	32 24 10 45 35 4 26 2 42 48 5 29 41 34 23 14 25 13 21 47 20 33 36 30 43 17 27 19 37 6 28 7 18 44 31 46 15 40 3 22 16 1 8 9 38 12 11 39	37 243	11,10%	11,10%	7,91%
				1 560 464 580	16 471 055	00:04:39	38 31 44 36 30 43 17 27 19 37 6 28 7 18 46 33 15 40 12 20 47 21 13 11 23 14 25 39 32 48 5 42 24 10 45 35 4 26 2 29 41 34 3 22 16 1 8 9	34 403	2,63%	2,63%	
60	0,98	15,1875	0,7	1 040 219 660	34 307 079	00:06:04	15 46 47 25 5 42 45 24 26 35 10 4 2 29 32 39 48 21 13 14 38 31 44 20 33 12 36 7 18 28 30 6 37 43 17 27 19 1 9 40 34 16 22 8 23 41 3 11	55 642	65,99%	65,99%	85,01%
				1 040 209 760	35 118 200	00:06:08	36 7 18 17 28 43 27 37 19 30 32 5 26 4 35 24 48 29 41 41 16 3 34 14 13 25 21 47 33 36 15 20 6 1 22 9 12 8 38 31 44 40 11 23	56 812	69,48%	69,48%	
				1 040 165 000	27 173 872	00:04:45	34 25 27 18 43 30 17 6 19 8 23 5 29 4 26 10 45 35 24 4 16 46 9 47 12 20 44 37 15 33 28 36 7 38 31 3 40 21 39 14 13 32 42 4 48 1 22	73 602	119,56%	119,56%	
60	1,274	5,0625	0,98	1 300 307 140	8 004 784	00:02:39	38 8 1 14 48 42 24 10 45 35 4 26 2 29 5 41 34 25 13 47 33 46 9 31 44 18 7 28 30 6 37 43 17 27 19 37 6 36 15 11 23 3 16 22 40 20 21 32 39 12	45 094	34,52%	34,52%	
				1 300 166 860	8 878 183	00:02:07	37 19 43 11 21 48 26 8 35 45 10 24 32 39 47 13 25 14 41 16 22 1 40 33 20 36 30 17 27 28 7 18 31 38 9 15 12 23 5 42 2 29 34 3 46 44 6	49 045	46,31%	46,31%	33,46%
				1 300 166 860	8 878 183	00:02:07	36 28 43 17 27 19 37 6 18 46 9 38 31 44 7 30 33 15 12 20 47 11 14 25 39 32 24 10 45 35 4 26 42 2 29 5 48 21 13 23 3 34 41 16 22 8 1 40	40 073	19,54%	19,54%	

APÊNDICE W

1.300	146.560	24.887.718	00:04:20	40.846.19.17.43.33.9.15.12.38.18.7.31.44.27.36.6.28.30.47.13.14.32.23.2.22.16.41.34.21.20.11.25.39.5.42.2.48.24.4.26.35.45.10.29	61.483	83,41%				
32	0,686	15,1875	0,98	1.300	99.744	15.418.377	00:02:44	1.389.31.44.27.17.43.19.7.18.46.20.12.22.23.11.13.25.14.41.29.2.26.4.45.35.10.24.42.5.48.32.21.39.16.30.36.6.37.40.47.33.28.8.3.34.15	58.563	74,70%
				1.300	111.712	17.131.669	00:03:02	1.22.16.29.48.5.13.7.20.47.11.23.39.24.10.45.35.4.26.2.42.32.21.34.25.14.41.8.15.3.40.46.12.9.36.28.18.38.43.19.37.17.6.31.44.30.27.33	60.936	81,78%
				1.560	261.568	9.133.950	00:02:36	13.11.12.46.44.28.36.20.47.21.32.39.48.5.24.10.45.35.4.26.42.2.29.14.34.41.16.22.3.40.15.33.30.43.17.27.19.37.6.7.18.31.38.9.8.1.23.25	39.327	17,32%
32	0,98	5,0625	0,42	1.560	170.112	6.344.585	00:01:45	15.12.30.6.28.18.31.38.9.40.47.21.39.32.24.10.45.35.4.26.42.2.29.5.48.25.13.14.34.41.16.22.1.3.23.11.20.33.46.44.36.43.27.17.19.37.7	40.562	21,00%
				1.560	233.312	6.353.410	00:02:06	31.7.28.6.37.19.27.17.43.30.36.18.44.46.33.12.11.40.9.38.15.20.47.21.39.32.24.10.45.35.4.26.42.2.29.5.48.25.14.13.23.3.34.41.16.22.1.8	36.511	8,92%
				1.040	183.808	14.058.014	00:02:56	25.13.23.11.20.30.43.17.27.19.37.6.28.36.7.18.44.31.15.12.33.46.38.9.8.1.40.3.22.16.41.34.14.47.21.32.39.5.29.2.42.24.10.45.35.4.26.48	38.237	14,07%
32	1,274	10,125	0,7	1.040	187.648	13.678.617	00:02:55	40.22.1.8.9.31.18.7.28.6.37.19.17.27.43.30.47.23.13.25.2.26.4.35.45.10.24.42.48.34.3.16.38.44.36.46.33.12.20.21.32.39.5.29.41.14.11.15	45.818	36,68%
				1.040	185.952	13.083.967	00:02:49	30.19.37.6.28.36.7.18.38.9.40.15.12.20.11.3.23.13.39.32.24.10.45.35.4.26.42.2.29.5.48.34.41.16.22.1.8.31.44.27.17.43.46.33.14.25.21.47	42.795	27,66%
				1.040	124.246	6.448.928	00:01:32	46.44.28.6.19.27.17.43.20.47.21.32.24.10.45.35.4.26.42.2.29.5.48.39.25.14.13.23.3.34.41.16.22.1.8.9.40.11.12.15.33.36.30.37.7.18.31.38	38.319	14,31%
46	0,686	10,125	0,98	1.040	206.126	9.529.858	00:02:23	15.9.7.37.19.6.46.40.22.16.41.34.5.48.24.32.39.25.21.47.20.43.17.27.30.28.36.18.44.31.38.8.1.3.23.13.29.2.26.4.35.45.10.42.14.11.12.33	45.275	35,06%
				1.040	118.588	6.869.077	00:01:34	8.1.40.11.12.46.33.20.47.13.34.41.16.22.3.38.31.7.37.19.17.27.6.36.15.23.14.25.48.5.29.2.42.26.4.35.45.10.24.32.39.21.43.30.28.18.44.9	43.051	28,43%
				1.300	160.908	20.099.897	00:03:43	32.48.5.29.39.40.38.9.8.1.31.27.30.19.18.7.6.37.17.43.28.36.44.46.15.33.13.22.3.24.45.10.35.26.4.42.2.41.16.23.12.20.47.11.25.34.14.21	54.404	62,29%
46	0,98	15,1875	0,42	1.300	185.288	24.649.519	00:04:28	19.17.43.6.33.16.25.39.48.24.35.45.2.10.4.26.41.22.23.14.15.3.29.32.5.42.21.11.20.30.27.28.18.12.13.34.40.9.1.8.38.47.7.36.46.31.44.37	67.129	100,25%
				1.300	217.718	27.635.092	00:05:10	44.37.43.36.18.28.38.33.1.3.40.47.13.5.41.16.39.24.26.4.35.45.10.42.29.15.19.6.31.46.30.27.9.8.22.25.11.20.12.14.48.2.34.23.21.32.17.7	71.218	112,45%
				1.560	153.364	8.102.565	00:01:57	9.8.1.22.41.5.29.2.4.26.10.24.32.21.13.47.11.12.46.18.36.30.6.37.19.27.17.43.28.7.44.31.38.40.16.3.23.14.39.45.35.42.48.34.25.20.33.15	45.670	36,24%
46	1,274	5,0625	0,7	1.560	256.634	14.362.800	00:03:23	21.32.39.48.5.24.10.45.35.4.26.42.2.29.25.13.12.33.31.44.7.28.30.43.17.27.19.37.6.36.18.46.15.40.9.38.8.1.22.16.3.41.34.14.23.11.20.47	37.437	11,68%
				1.560	187.910	7.233.816	00:01:58	21.32.24.10.45.35.4.26.42.2.29.5.48.39.25.14.13.47.20.46.18.28.30.43.17.27.19.44.31.38.8.1.9.12.40.22.16.41.34.3.23.11.15.33.36.6.37	41.214	22,95%
				1.560	271.500	38.581.424	00:06:59	43.31.33.12.41.2.5.48.24.26.4.45.35.10.32.21.39.25.14.13.47.20.36.27.19.37.7.18.46.15.8.23.1.16.22.40.38.9.34.29.3.11.44.28.30.6.17	55.618	65,91%
60	0,686	15,1875	0,7	1.560	321.000	50.655.798	00:08:51	24.35.4.45.10.32.39.16.14.23.21.11.15.31.20.12.36.33.46.38.25.13.47.17.27.43.6.19.37.30.7.28.44.18.8.9.40.41.34.22.1.3.5.48.42.26.2.29	59.747	78,23%
				1.560	534.300	70.956.001	00:12:55	1.40.3.12.21.47.13.42.10.45.35.26.4.2.34.41.16.22.14.25.5.39.32.24.48.29.23.11.33.20.15.46.9.38.31.36.19.6.27.43.17.30.37.28.18.7.44	49.064	46,36%
				1.040	206.940	9.941.129	00:02:26	30.43.17.27.19.6.28.36.46.9.8.1.22.16.41.29.5.39.25.14.13.23.11.40.12.20.47.21.32.24.10.45.35.4.26.2.42.48.34.3.38.31.44.7.18.15.33.37	42.055	25,45%
60	0,98	5,0625	0,98	1.040	177.120	8.993.236	00:02:10	38.31.44.7.6.30.43.17.27.19.37.28.18.36.33.11.14.25.48.5.29.2.42.26.4.35.45.10.24.32.39.21.47.20.12.46.15.40.1.16.41.34.13.23.3.22.8.9	37.870	12,97%
				1.040	300.660	13.907.738	00:03:27	27.20.47.21.32.39.48.5.42.24.10.45.35.4.26.2.29.34.41.16.3.15.33.46.28.7.38.9.8.1.22.40.31.44.18.6.37.19.17.43.30.12.11.13.25.14.23	43.748	30,51%
				1.300	657.720	47.604.315	00:10:03	34.41.16.40.20.43.30.27.28.46.31.38.8.9.1.22.3.29.2.42.26.4.35.45.10.24.32.39.21.47.11.36.7.37.19.17.6.18.44.33.15.12.5.48.25.14.13.23	46.353	38,28%
60	1,274	10,125	0,42	1.300	613.800	37.602.248	00:08:28	28.7.18.9.8.1.34.29.2.42.26.4.35.45.10.24.5.48.39.32.21.47.20.12.15.40.22.16.41.3.23.14.25.13.11.33.46.38.31.44.36.43.17.19.37.6.30	38.424	14,62%
				1.300	424.800	26.999.763	00:05:59	25.14.23.12.18.7.44.31.38.8.16.27.3.41.34.42.24.10.45.35.4.26.2.29.5.48.39.32.21.13.11.40.46.28.6.37.19.27.17.43.30.36.9.1.15.33.20.47	41.199	22,90%

^a Processador: Intel(R) Core(TM) i7-9750H CPU @ 2.60GHz RAM instalada: 12,0 GB (11,9 GB utilizável)

APÊNDICE Y

403 080	21 128 790	00:05:00	16 22 3 41 34 13 47 21 32 39 48 5 42 24 10 45 35 4 26 2 29 25 14 23 11 12 20 33 46 36 30 43 27 17 19 37 6 28 18 44 31 38 15 40 9 8 1	36 149	7,84%
408 840	20 538 186	00:04:55	16 41 2 29 5 48 39 25 14 13 11 12 40 15 46 9 38 31 44 7 18 36 28 6 43 17 27 19 37 30 33 20 21 32 24 10 45 35 4 26 42 34 47 23 3 22 1 8	41 685	24,35%
349 860	19 865 513	00:04:33	21 47 20 33 40 9 8 1 16 22 3 41 34 2 42 26 4 35 45 10 24 39 25 13 38 31 44 18 6 30 43 17 27 19 37 28 7 36 46 15 12 11 23 14 29 5 48 32	40 430	20,61%
391 740	18 020 751	00:04:29	30 20 12 9 8 1 22 16 41 34 29 2 26 4 35 45 10 24 42 5 48 39 32 21 47 33 43 17 27 19 37 6 36 46 15 11 13 25 14 23 3 40 38 31 44 18 7 28	39 032	16,44%
415 860	21 576 454	00:05:08	6 37 19 17 43 27 30 28 36 7 44 46 33 15 12 20 47 23 3 22 16 41 34 14 13 21 39 32 24 45 35 4 26 10 42 2 29 5 48 25 11 40 9 1 8 38 31 18	36 392	8,56%
775 140	47 347 392	00:10:34	8 1 38 46 33 20 36 28 30 37 19 17 43 27 6 7 18 44 31 15 12 11 47 21 13 40 3 23 14 25 39 32 29 5 48 24 10 45 35 4 26 2 42 34 41 16 22 9	40 666	21,31%
320 700	7 184 994	00:02:34	44 31 38 9 8 1 22 16 41 3 40 15 12 47 21 13 14 34 29 2 42 26 4 35 45 10 24 32 39 48 5 25 23 11 20 33 46 18 7 28 37 19 27 17 43 30 6 36	36 147	7,83%
433 440	17 012 449	00:04:40	41 16 22 1 9 44 18 28 30 43 17 27 19 37 6 36 33 20 47 21 32 39 48 25 14 13 23 11 12 15 46 7 31 38 8 40 3 34 5 42 24 10 45 35 26 4 2 29	39 579	18,07%
309 240	14 444 645	00:03:49	25 12 46 36 28 7 18 44 31 38 8 41 5 48 42 24 10 45 35 4 26 2 29 34 14 13 47 20 43 17 27 19 37 6 30 33 15 40 9 1 16 22 3 23 11 21 32 39	41 065	22,50%
307 140	16 085 848	00:03:55	44 31 8 16 22 3 11 21 47 12 20 30 36 7 38 9 1 41 34 48 5 29 2 42 26 4 35 45 10 24 32 39 25 14 13 23 40 15 33 46 37 27 43 17 19 6 28 18	41 673	24,32%
520 020	22 725 012	00:06:02	15 9 1 8 38 7 6 37 19 27 17 43 30 36 46 40 11 47 21 13 25 14 34 41 16 22 3 39 32 48 5 42 24 10 45 35 4 26 2 29 23 31 44 18 28 33 20 12	41 731	24,49%
381 000	17 328 811	00:04:32	22 9 31 46 20 47 21 13 25 14 5 48 39 32 24 10 45 35 4 26 42 2 29 41 34 3 23 11 40 15 12 33 18 7 28 6 37 19 27 17 43 30 36 44 38 8 1 16	37 725	12,54%
348 480	15 386 268	00:03:59	21 13 25 14 23 11 40 22 16 41 29 2 42 26 4 35 45 10 24 32 39 48 5 34 3 1 8 9 38 31 44 7 36 30 43 17 27 19 37 6 28 18 46 33 15 12 20 47	35 637	6,31%
252 120	9 330 697	00:02:37	38 8 16 41 34 14 11 12 33 46 15 40 9 1 22 3 23 13 39 32 24 10 45 35 4 26 42 2 29 5 48 25 21 47 20 36 30 43 17 27 19 37 6 28 7 18 44 31	36 416	8,63%
1560	0 0,686	10,125	0	15,75%	
357 660	16 134 124	00:04:07	46 36 43 17 27 19 37 6 30 28 7 18 15 12 47 21 32 39 48 5 29 41 34 3 22 16 1 8 9 38 31 44 33 20 13 14 2 42 26 4 35 45 10 24 25 23 11 40	41 430	23,59%
413 580	21 091 346	00:05:08	43 30 36 46 40 15 33 20 12 11 25 32 24 10 45 35 4 26 42 2 29 5 48 39 21 47 13 23 14 34 41 3 22 16 1 8 9 38 31 44 18 7 28 6 37 19 27 17	35 986	7,35%
267 660	11 897 955	00:03:17	15 40 3 23 13 14 34 41 16 22 1 8 9 38 31 44 46 33 20 12 11 25 39 32 48 5 29 2 42 26 4 35 45 10 24 21 47 36 30 43 17 27 19 37 6 28 7 18	38 517	14,90%
371 700	11 132 823	00:03:31	11 25 39 32 24 10 45 35 4 26 42 2 29 5 48 34 41 16 22 3 23 14 13 21 47 20 15 40 1 8 9 38 31 46 44 18 7 28 6 37 19 27 17 43 30 36 33 12	35 857	6,97%
304 020	11 639 120	00:03:13	12 15 33 46 40 9 1 8 38 31 44 18 7 36 28 6 37 19 27 17 43 30 20 47 11 3 22 16 41 34 29 2 26 4 35 45 10 24 42 5 48 39 32 21 13 25 14 23	35 127	4,79%
389 340	19 193 951	00:04:45	20 33 19 37 6 7 38 9 8 1 22 16 41 34 3 23 14 13 21 32 39 48 5 42 24 10 45 35 4 26 2 29 25 47 12 15 46 36 30 43 17 27 28 18 44 31 40 11	40 733	21,51%
302 760	12 054 359	00:03:18	20 36 30 43 17 27 19 37 6 28 7 18 44 31 46 33 15 12 11 23 14 25 48 5 42 24 10 45 35 4 26 2 29 41 34 3 40 9 38 8 1 16 22 13 39 32 21 47	37 155	10,84%
366 180	16 692 596	00:04:19	48 5 39 32 21 13 23 11 20 33 46 36 43 17 27 19 37 6 30 28 7 18 44 31 38 9 8 1 22 16 41 3 40 15 12 47 25 14 34 29 2 42 26 4 35 45 10 24	36 159	7,87%
536 820	24 476 357	00:06:14	44 18 7 37 19 6 36 46 33 11 23 14 25 39 32 24 10 45 35 4 26 42 2 29 5 48 13 21 47 20 12 15 40 3 34 41 16 22 1 8 9 38 31 28 27 17 43 30	37 686	12,42%
327 840	16 349 890	00:04:00	40 38 31 7 28 6 19 37 27 43 17 30 36 18 44 46 33 20 11 47 13 21 39 24 42 10 45 35 4 26 2 29 41 16 22 3 34 5 48 32 25 14 23 12 15 1 8 9	39 341	17,36%
400 500	13 368 707	00:03:55	34 41 29 2 26 4 35 45 10 24 42 5 48 39 32 13 23 11 12 33 46 15 40 3 22 16 1 8 9 38 31 44 18 7 36 28 30 6 37 19 27 17 43 20 47 21 25 14	35 322	5,37%
556 740	25 495 431	00:06:34	38 9 8 1 22 16 41 3 25 13 47 21 32 39 48 5 42 24 10 45 35 4 26 2 29 34 14 23 11 12 20 30 43 17 27 19 37 6 28 36 7 18 44 46 33 15 40 31	36 284	8,24%
409 560	20 506 917	00:05:07	6 37 19 27 17 43 28 7 18 36 46 33 20 11 47 21 25 14 34 3 22 40 12 15 44 31 38 9 8 1 16 41 5 48 39 32 24 10 45 35 4 26 42 2 29 13 23 30	41 138	22,72%

^a Processador: Intel(R) Core(TM) i7-9750H CPU @ 2.60GHz 2.59 GHz/ RAM instalada: 12,0 GB (11,9 GB utilizável)

ANEXO A

NAME : att48			NAME : eil51			NAME : pr76			NAME : eil76		
COMMENT : 48 capitals of the US (Padberg/Rinaldi)			COMMENT : 51-city problem (Christofides/Eilon)			COMMENT : 76-city problem (Padberg/Rinaldi)			COMMENT : 76-city problem (Christofides/Eilon)		
TYPE : TSP			TYPE : TSP			TYPE : TSP			TYPE : TSP		
DIMENSION : 48			DIMENSION : 51			DIMENSION : 76			DIMENSION : 76		
EDGE_WEIGHT_TYPE : ATT			EDGE_WEIGHT_TYPE : EUC_2D			EDGE_WEIGHT_TYPE : EUC_2D			EDGE_WEIGHT_TYPE : EUC_2D		
NODE_COORD_SECTION			NODE_COORD_SECTION			NODE_COORD_SECTION			NODE_COORD_SECTION		
1	6734	1453	1	37	52	1	3600	2300	1	22	22
2	2233	10	2	49	49	2	3100	3300	2	36	26
3	5530	1424	3	52	64	3	4700	5750	3	21	45
4	401	841	4	20	26	4	5400	5750	4	45	35
5	3082	1644	5	40	30	5	5608	7103	5	55	20
6	7608	4458	6	21	47	6	4493	7102	6	33	34
7	7573	3716	7	17	63	7	3600	6950	7	50	50
8	7265	1268	8	31	62	8	3100	7250	8	55	45
9	6898	1885	9	52	33	9	4700	8450	9	26	59
10	1112	2049	10	51	21	10	5400	8450	10	40	66
11	5468	2606	11	42	41	11	5610	10053	11	55	65
12	5989	2873	12	31	32	12	4492	10052	12	35	51
13	4706	2674	13	5	25	13	3600	10800	13	62	35
14	4612	2035	14	12	42	14	3100	10950	14	62	57
15	6347	2683	15	36	16	15	4700	11650	15	62	24
16	6107	669	16	52	41	16	5400	11650	16	21	36
17	7611	5184	17	27	23	17	6650	10800	17	33	44
18	7462	3590	18	17	33	18	7300	10950	18	9	56
19	7732	4723	19	13	13	19	7300	7250	19	62	48
20	5900	3561	20	57	58	20	6650	6950	20	66	14
21	4483	3369	21	62	42	21	7300	3300	21	44	13
22	6101	1110	22	42	57	22	6650	2300	22	26	13
23	5199	2182	23	16	57	23	5400	1600	23	11	28
24	1633	2809	24	8	52	24	8350	2300	24	7	43
25	4307	2322	25	7	38	25	7850	3300	25	17	64
26	675	1006	26	27	68	26	9450	5750	26	41	46
27	7555	4819	27	30	48	27	10150	5750	27	55	34
28	7541	3981	28	43	67	28	10358	7103	28	35	16
29	3177	756	29	58	48	29	9243	7102	29	52	26
30	7352	4506	30	58	27	30	8350	6950	30	43	26
31	7545	2801	31	37	69	31	7850	7250	31	31	76
32	3245	3305	32	38	46	32	9450	8450	32	22	53
33	6426	3173	33	46	10	33	10150	8450	33	26	29
34	4608	1198	34	61	33	34	10360	10053	34	50	40
35	23	2216	35	62	63	35	9242	10052	35	55	50
36	7248	3779	36	63	69	36	8350	10800	36	54	10
37	7762	4595	37	32	22	37	7850	10950	37	60	15
38	7392	2244	38	45	35	38	9450	11650	38	47	66
39	3484	2829	39	59	15	39	10150	11650	39	30	60
40	6271	2135	40	5	6	40	11400	10800	40	30	50
41	4985	140	41	10	17	41	12050	10950	41	12	17
42	1916	1569	42	21	10	42	12050	7250	42	15	14
43	7280	4899	43	5	64	43	11400	6950	43	16	19
44	7509	3239	44	30	15	44	12050	3300	44	21	48
45	10	2676	45	39	10	45	11400	2300	45	50	30
46	6807	2993	46	32	39	46	10150	1600	46	51	42
47	5185	3258	47	25	32	47	13100	2300	47	50	15
48	3023	1942	48	25	55	48	12600	3300	48	48	21
EOF			49	48	28	49	14200	5750	49	12	38
			50	56	37	50	14900	5750	50	15	56
			51	30	40	51	15108	7103	51	29	39
			EOF			52	13993	7102	52	54	38
						53	13100	6950	53	55	57
						54	12600	7250	54	67	41
						55	14200	8450	55	10	70
						56	14900	8450	56	6	25
						57	15110	10053	57	65	27
						58	13992	10052	58	40	60
						59	13100	10800	59	70	64
						60	12600	10950	60	64	4
						61	14200	11650	61	36	6
						62	14900	11650	62	30	20
						63	16150	10800	63	20	30
						64	16800	10950	64	15	5
						65	16800	7250	65	50	70
						66	16150	6950	66	57	72
						67	16800	3300	67	45	42
						68	16150	2300	68	38	33
						69	14900	1600	69	50	4
						70	19800	800	70	66	8
						71	19800	10000	71	59	5
						72	19800	11900	72	35	60
						73	19800	12200	73	27	24
						74	200	12200	74	40	20
						75	200	1100	75	40	37
						76	200	800	76	40	40
						EOF			EOF		

ANEXO B

	A	B	C	D	E	F
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1	-1	-1	-1
3	-1	1	-1	-1	-1	-1
4	1	1	-1	-1	-1	-1
5	-1	-1	1	-1	-1	-1
6	1	-1	1	-1	-1	-1
7	-1	1	1	-1	-1	-1
8	1	1	1	-1	-1	-1
9	-1	-1	-1	1	-1	-1
10	1	-1	-1	1	-1	-1
11	-1	1	-1	1	-1	-1
12	1	1	-1	1	-1	-1
13	-1	-1	1	1	-1	-1
14	1	-1	1	1	-1	-1
15	-1	1	1	1	-1	-1
16	1	1	1	1	-1	-1
17	-1	-1	-1	-1	1	-1
18	1	-1	-1	-1	1	-1
19	-1	1	-1	-1	1	-1
20	1	1	-1	-1	1	-1
21	-1	-1	1	-1	1	-1
22	1	-1	1	-1	1	-1
23	-1	1	1	-1	1	-1
24	1	1	1	-1	1	-1
25	-1	-1	-1	1	1	-1
26	1	-1	-1	1	1	-1
27	-1	1	-1	1	1	-1
28	1	1	-1	1	1	-1
29	-1	-1	1	1	1	-1
30	1	-1	1	1	1	-1
31	-1	1	1	1	1	-1
32	1	1	1	1	1	-1
33	-1	-1	-1	-1	-1	1
34	1	-1	-1	-1	-1	1
35	-1	1	-1	-1	-1	1
36	1	1	-1	-1	-1	1
37	-1	-1	1	-1	-1	1
38	1	-1	1	-1	-1	1
39	-1	1	1	-1	-1	1
40	1	1	1	-1	-1	1
41	-1	-1	-1	1	-1	1
42	1	-1	-1	1	-1	1
43	-1	1	-1	1	-1	1
44	1	1	-1	1	-1	1
45	-1	-1	1	1	-1	1
46	1	-1	1	1	-1	1
47	-1	1	1	1	-1	1
48	1	1	1	1	-1	1
49	-1	-1	-1	-1	1	1
50	1	-1	-1	-1	1	1
51	-1	1	-1	-1	1	1
52	1	1	-1	-1	1	1
53	-1	-1	1	-1	1	1
54	1	-1	1	-1	1	1
55	-1	1	1	-1	1	1
56	1	1	1	-1	1	1
57	-1	-1	-1	1	1	1
58	1	-1	-1	1	1	1
59	-1	1	-1	1	1	1
60	1	1	-1	1	1	1
61	-1	-1	1	1	1	1
62	1	-1	1	1	1	1
63	-1	1	1	1	1	1
64	1	1	1	1	1	1

ANEXO C

$$2_{VI}^{(6-1)}$$

	A	B	C	D	E	F
1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1	-1	-1	1
3	-1	1	-1	-1	-1	1
4	1	1	-1	-1	-1	-1
5	-1	-1	1	-1	-1	1
6	1	-1	1	-1	-1	-1
7	-1	1	1	-1	-1	-1
8	1	1	1	-1	-1	1
9	-1	-1	-1	1	-1	1
10	1	-1	-1	1	-1	-1
11	-1	1	-1	1	-1	-1
12	1	1	-1	1	-1	1
13	-1	-1	1	1	-1	-1
14	1	-1	1	1	-1	1
15	-1	1	1	1	-1	1
16	1	1	1	1	-1	-1
17	-1	-1	-1	-1	1	1
18	1	-1	-1	-1	1	-1
19	-1	1	-1	-1	1	-1
20	1	1	-1	-1	1	1
21	-1	-1	1	-1	1	-1
22	1	-1	1	-1	1	1
23	-1	1	1	-1	1	1
24	1	1	1	-1	1	-1
25	-1	-1	-1	1	1	-1
26	1	-1	-1	1	1	1
27	-1	1	-1	1	1	1
28	1	1	-1	1	1	-1
29	-1	-1	1	1	1	1
30	1	-1	1	1	1	-1
31	-1	1	1	1	1	-1
32	1	1	1	1	1	1