



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
DEPARTAMENTO DE ESTATÍSTICA

Ben Hur Santana de Lima

**UMA ABORDAGEM VIA METAHEURÍSTICA BRKGA
PARA O PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE COM
LIMITE DE CALADO**

Recife
2022

Ben Hur Santana de Lima

**UMA ABORDAGEM VIA METAHEURÍSTICA BRKGA
PARA O PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE COM
LIMITE DE CALADO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Curso de Bacharelado em Estatística da
Universidade Federal de Pernambuco como
requisito parcial para obtenção do título de
Bacharel em Estatística.

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Orientador: Prof. Dr. André Leite Wanderley
Co-orientadora: Profa. Dra. Geiza Cristina da Silva

Recife-PE

Outubro de 2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Lima, Ben Hur Santana de.

Uma abordagem via metaheurística BRKGA para o Problema do Caixeiro Viajante com Limite de Calado / Ben Hur Santana de Lima. - Recife, 2022.
55p. : il., tab.

Orientador(a): André Leite Wanderley

Cooorientador(a): Geiza Cristina da Silva

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Estatística - Bacharelado, 2022.

Inclui referências, apêndices, anexos.

1. Problema do Caixeiro Viajante com Limite de Calado. 2. BRKGA. 3. Ótimização Combinatória. 4. Pesquisa Operacional. I. Wanderley, André Leite. (Orientação). II. Silva, Geiza Cristina da. (Coorientação). III. Título.

000 CDD (22.ed.)

Ben Hur Santana de Lima

UMA ABORDAGEM VIA META HEURÍSTICA BRKGA PARA O PROBLEMA DO CAIXEIRO VIAJANTE COM LIMITE DE CALADO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Bacharelado em
Estatística da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Estatística.

Aprovado em: 20/10/202022

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente
ANDRE LEITE WANDERLEY
Data: 28/10/2022 06:49:34-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Profª. Dra. André Leite Wanderley (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco



Documento assinado digitalmente
RAYDONAL OSPINA MARTINEZ
Data: 28/10/2022 12:39:38-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Raydonal Ospina Martínez (Examinador)
Universidade Federal de Pernambuco



Documento assinado digitalmente
CRISTIANO FERRAZ
Data: 03/11/2022 19:25:39-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>

Prof. Dr. Cristiano Ferraz (Examinador)
Universidade Federal de Pernambuco

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a minha mãe, Márcia Santana Macedo, por sempre me apoiar e sempre tentar de tudo para que eu continuasse tentado. Obrigado por tudo.

À minha tia, Elioene Santana Macedo, que não teve a oportunidade de me ver conquistar esse momento. Que esteja descansando em paz.

Aos meus irmãos, Julio Cesar de Lima e Marcos Felipe de Lima, o maior incentivo de fazer uma faculdade em universidade pública foram eles.

Aos meus familiares mais próximos que estiveram do meu lado, sempre me apoiando e incentivando.

Aos meu colega de turma, Marlon Amaral, sempre que dava fazíamos trabalhos em dupla juntos, onde isso proporcional desenvolver meu trabalho em equipe e ganhar uma boa amizade até quando sairmos da área acadêmica.

Aos meu colegas de curso Carol Correia, Carol Tavares, Rondynele Junior, Lucas Melo. Sempre desabafávamos sobre o curso pois sabíamos o quão difícil era, mas já passamos por tanto caminho.

Aos meus colegas de Engenharia Cartográfica, Beatriz Oliveira, Danielton Santana, Guilherme Oliveira, Joyce Costa e Thassy teles. Companheiros da área 2 e das festas universitárias.

À todos os professores do curso, em especial a professora Geiza Cristina que me fez gostar da área da pesquisa operacional e sugeriu o tema deste trabalho. Juntamente com o professor André Leite, que lecionou disciplinas em que me apaixonei, como Redes Neurais, e me ajudou a dar continuidade a este trabalho.

À professora Caliteia Souza por suas palavras de sabedoria e incentivo.

Agradeço a todos que me fizeram estar aqui. Obrigado!

Resumo

Este trabalho trata-se de um estudo computacional para o algoritmo genético de chaves aleatórias viciadas (*Biased Random-Key Genetic Algorithm* - BRKGA) para o Problema do Caixeiro Viajante com Limite de Calado (PCVLC). O PCVLC é uma variante do Problema do Caixeiro viajante, aplicável aos transportes marítimos cargueiros, onde o objetivo do problema consiste em visitar todos os portos apenas uma vez respeitando a carga que o navio está carregando e o calado do porto em que está atracando. Para avaliar o desempenho do algoritmo BRKGA são utilizados instâncias da literatura, e para comparar os resultados é utilizado o algoritmo exato *Branch-Cut-and-Price* (BCP).

Palavras-chaves: Problema do Caixeiro Viajante com Limite de Calado. Otimização Combinatória. BRKGA. Pesquisa Operacional.

Abstract

In this work it is a computational study for the genetic animal of keys Random-Key Genetic Algorithm - BRKGA) for the Traveling Salesman Problem with Draft Limit (TSPDL). The TSPDL is a variant of Traveling salesman problem, applicable to cargo maritime transport, where the The problem is to visit ports only once the objective of visiting the cargo the ship is carrying and the draft of the port at which it is docking. For to evaluate the performance of the BRKGA algorithm, instances from the literature are used, and to comparing the results is used or exact algorithm Branch-Cut-and-Price (BCP).

Keywords: Traveling Salesman Problem With Draft Limite. Combinatorial optimization. BRKGA. Operational research

Lista de ilustrações

Figura 1 – Ilustração do calado e do limite de calado (a) Navio com carga (b)	
Navio sem carga. Fonte: (RAKKE et al., 2012)	2
Figura 2 – Fluxograma do BRKGA. Fonte: adaptada de (RESENDE, 2013)	4
Figura 3 – Funcionamento do BRKGA entre gerações. Fonte: adaptada de (RE-	
SENDE, 2013)	5
Figura 4 – Boxplot das soluções de cada repetição da primeira simulação	8
Figura 5 – Boxplot dos tempos de execução de cada repetição da primeira simulação	8
Figura 6 – Boxplot das soluções de cada repetição da segunda simulação	18
Figura 7 – Boxplot das soluções de cada repetição da segunda simulação	19

Lista de tabelas

Tabela 1 – Conjunto de instâncias	7
Tabela 2 – Parâmetros dos testes da primeira simulação	7
Tabela 3 – Resultados da primeira simulação para instâncias <i>Burma14</i>	10
Tabela 4 – Resultados da primeira simulação para instâncias <i>Bayg29</i>	11
Tabela 5 – Resultados da primeira simulação para instâncias <i>Fri26</i>	12
Tabela 6 – Resultados da primeira simulação para instâncias <i>Gr17</i>	13
Tabela 7 – Resultados da primeira simulação para instâncias <i>Gr21</i>	14
Tabela 8 – Resultados da primeira simulação para instâncias <i>Gr48</i>	15
Tabela 9 – Resultados da primeira simulação para instâncias <i>Ulysses16</i>	16
Tabela 10 – Resultados da primeira simulação para instâncias <i>Ulysses22</i>	17
Tabela 11 – Parâmetros dos testes da segunda simulação	18
Tabela 12 – Resultados da segunda simulação para instâncias <i>Burma14</i>	20
Tabela 13 – Resultados da segunda simulação para instâncias <i>Bayg29</i>	21
Tabela 14 – Resultados da segunda simulação para instâncias <i>Fri26</i>	22
Tabela 15 – Resultados da segunda simulação para instâncias <i>Gr17</i>	23
Tabela 16 – Resultados da segunda simulação para instâncias <i>Gr21</i>	24
Tabela 17 – Resultados da segunda simulação para instâncias <i>Gr48</i>	25
Tabela 18 – Resultados da segunda simulação para instâncias <i>Ulysses16</i>	26
Tabela 19 – Resultados da segunda simulação para instâncias <i>Ulysses22</i>	27

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Problema do Caixeiro Viajante	1
1.2	Problema do Caixeiro Viajante Com Limite de Calado	1
2	METODOLOGIA	4
2.1	Algoritmo genético de chaves aleatórias viciadas - BRKGA	4
2.2	Sobre a API	5
2.2.1	decoder	5
2.2.2	brkga	6
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	7
3.1	Obtenção da base de dados	7
3.2	Simulações e resultados	7
4	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	28
	REFERÊNCIAS	29
	ANEXOS	30
	ANEXO A – ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS REFERENTE A PRIMEIRA SIMULAÇÃO	31
	ANEXO B – ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS REFERENTE A SEGUNDA SIMULAÇÃO	38
C	– RESULTADOS DO ALGORITMO PROPOSTO PARA GRANDES INSTÂNCIAS, COM 100, 200 E 442 NÓS	45

1 Introdução

1.1 Problema do Caixeiro Viajante

Sendo um dos problemas mais famosos na área da pesquisa operacional, o Problema do Caixeiro Viajante (PCV) tem sua formulação relativamente simples, com soluções complexas, tornando-o um objeto importante de pesquisa devido às suas diversas derivações.

Dado um determinado conjunto de lugares a serem visitados, o objetivo do PCV é encontrar caminho de menor custo para percorre-lo. Porém com duas condições, a primeira devemos começar e terminar o trajeto no mesmo lugar, a segunda condição consiste em passar por todos o lugares apenas uma vez (RAKKE et al., 2012).

Existem vários algoritmos para resolver este tipo de problema, como o algoritmo do vizinho mais próximo que consiste em ir para o ponto mais próximo. O computador pode resolver isso em menos de 1 segundo, para problemas modestos, contudo não se tem tecnologia suficiente quando vai se aumentando a quantidade de “cidades” visitadas ou a complexibilidade da variação.

Problemas com uma estrutura semelhante são chamados de NP e em termos simples são problemas intratáveis para os quais ainda não conhecemos algoritmos eficientes para resolvê-los. Como resolver isto seria muito benéfico para a sociedade, a Clay Math Institute oferece U\$ 1 milhão de dolares para quem resolve-lo (TONETTO et al.,), assim como mais outros 5 problemas, juntos, conhecidos como os 6 problemas do milênio.

1.2 Problema do Caixeiro Viajante Com Limite de Calado

Como já dito existem variações do PCV, (RAKKE et al., 2012) propôs uma formulação aplicável aos problemas do transporte marítimo com carga, o chamado problema do caixeiro viajante com limite de calado (PCVLC).

O calado de um navio é a distância do fundo do navio ao nível da água. Após o carregamento, o navio apresenta um grande calado devido ao aumento do peso da carga. Um problema comum no transporte marítimo é que muitos portos não aceitam uma embarcação com calado maior que o limite do porto. Assim, um navio que não cumpra esta restrição poderá ficar bloqueado ao tentar atracar neste porto. Devido a essa restrição, o objetivo do PCVLC é que a embarcação siga uma rota de menor distância, saindo do porto de origem, passando por todos os portos uma vez e retornando ao porto de origem (circuito hamiltoniano de custo mínimo), respeitando os calados limite de cada porto. A figura 1 mostra o navio quando está com carga e sem carga. (TODOSIJEVIĆ et al., 2017)

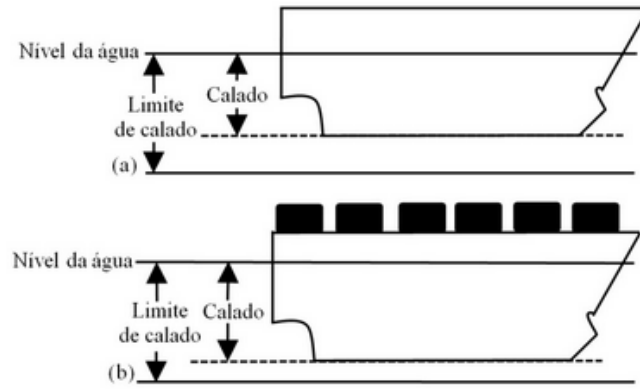


Figura 1 – Ilustração do calado e do limite de calado (a) Navio com carga (b) Navio sem carga. Fonte: (RAKKE et al., 2012)

O problema pode ser definido como um grafo não direcionado $G(V, A)$ onde $V = \{0, 1, 2, \dots, n\}$ representa o conjunto de portos, em que o 0 é o porto inicial ou depósito. O conjunto A são as arestas (i, j) , elas possuem um custo C_{ij} e cada porto tem um limite de calado L_i , além de possuir uma demanda d_j (MACHADO; OCHI; NEVES, 2015).

Sua função objetivo é dada por:

$$\min \sum_{i,j \in A} C_{ij} X_{ij} \quad (1.1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i \in V} X_{ij} = 1, \quad \forall j \in V \quad (1.2)$$

$$\sum_{j \in V} X_{ij} = 1, \quad \forall i \in V \quad (1.3)$$

$$\sum_{i \in V} Y_{ij} - \sum_{i \in V} Y_{ij} = d_j, \quad \forall j \in V \quad (1.4)$$

$$\sum_{i \in V} Y_{0j} = \sum_{i \in V \setminus \{0\}} d_j \quad (1.5)$$

$$\sum_{i \in V} Y_{0j} = 0 \quad (1.6)$$

$$0 \leq y_{ij} \leq l_j, \quad \forall (i, j) \in A \quad (1.7)$$

$$x_{i,j} \in \{0, 1\}, \quad \forall (i, j) \in A \quad (1.8)$$

Em que,

(1.1) minimiza o custo das rotas;

(1.2) e (1.3) garantem que os portos serão visitados apenas uma vez;

(1.4) garante que a demanda de cada porto será satisfeita e impede a criação de novos subciclos;

(1.5) e (1.6) asseguram ao navio de partir com carga completa e voltar vazio a origem;

(1.7) garante que os limites de calado serão respeitados.

2 Metodologia

2.1 Algoritmo genético de chaves aleatórias viciadas - BRKGA

Neste trabalho será utilizado o *Biased random-key genetic algorithm* (BRKGA), uma metaheurística usada para resolver problemas discretos que foi proposto por (GONÇALVES; RESENDE, 2011).

Inicialmente é gerada uma população inicial p aleatoriamente, onde cada indivíduo da população é representado por um cromossomo, em que é representado por um vetor de chaves aleatórias cujos elementos, que chamaremos de alelos, são representados por um valor no intervalo $[0,1)$. Representando a identidade do indivíduo.

Gerada a população inicial, ela é dividida em indivíduos elite p_e e indivíduos não-elite $p - p_e$, em que $p_e < p - p_e$. Os indivíduos elite são copiados diretamente para a próxima geração, sem nenhuma alteração neles. Os indivíduos não-elite são usados para a técnica de cruzamento e em seguida descartados.

Daí então são gerados os indivíduos mutantes p_m , sua criação é idêntica ao da geração inicial, aleatoriamente.

Além da mutação, o cruzamento é o outro método evolutivo que produz os demais $p - p_e - p_m$ indivíduos da geração $q + 1$. São escolhidos aleatoriamente um pai elite e um não-elite, seus descendentes terão uma probabilidade p_e de herdar o alelo do pai elite. Assim cada componente cromossomo do herdeiro terá probabilidade ρ de ter o alelo do pai elite e $1 - p_e$ de ter o alelo do pai não-elite.

Essas etapas são melhores visualizadas nas Figuras 2 e 3.

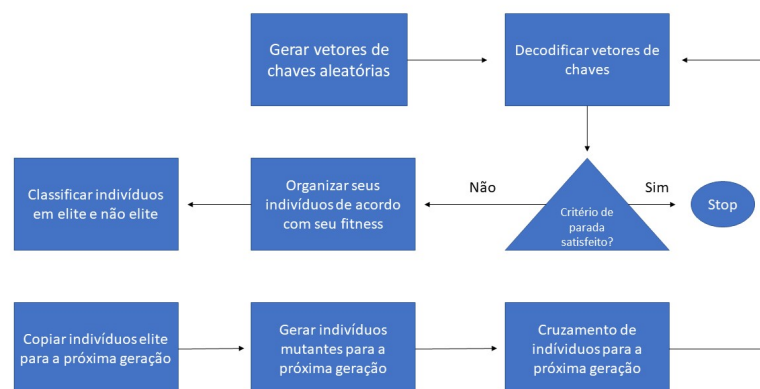


Figura 2 – Fluxograma do BRKGA. Fonte: adaptada de (RESENDE, 2013)

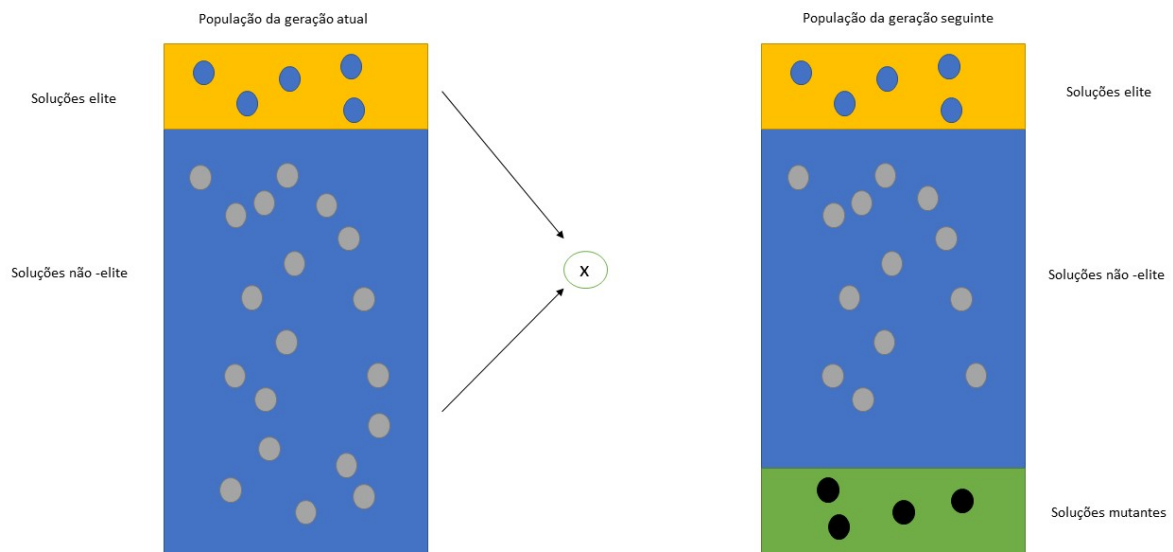


Figura 3 – Funcionamento do BRKGA entre gerações. Fonte: adaptada de (RESENDE, 2013)

2.2 Sobre a API

Para a parte computacional do trabalho foi utilizado a API proposto por (TOSO; RESENDE, 2015) em linguagem C_{++} , mas para este trabalho foi a API exportada para a linguagem R com a ajuda do pacote Rcpp. Podemos encontrar os arquivos de código original e seu manual em: <http://mauricio.resende.info/src/brkgaAPI/>¹.

Interface de Programação de Aplicações (API) é uma interface com padrões estabelecidos por um software que não se envolve diretamente na execução de um programa ou aplicativo, facilitando sua criação. O usuário não precisa saber detalhes de como a API funciona, mas sim como utilizar seus serviços e como ela irá interagir com os elementos de sua pesquisa (WIKIPÉDIA, 2022).

Composto por duas classes, a População e BRKGA. A população simplesmente define, armazena e facilita o acesso aos indivíduos, enquanto a segunda corresponde ao próprio algoritmo permitindo que o usuário possa manipular o conjunto de populações (TOSO; RESENDE, 2015).

Para poder usar a API o usuário deve implementar as interfaces *decoder* e *brkga*.

2.2.1 decoder

Na interface do *decoder* é onde se implementa a *fitness* do problema. Para este trabalho foi implementado uma condição para o Limite de calado, se o calado do porto de

¹ Último acesso em 07-10-2022

destino for menor que a carga do navio, o algoritmo calcula o *fitness* da equação 2.2

$$\text{myFitness} = \sum_{i=0}^{n-1} \text{distância}(\text{Porto}_{i-1}, \text{Porto}_i) \quad (2.1)$$

Caso essa condição não for satisfeita o algoritmo colocará uma penalidade, somando 10000 (dez mil), para piorar a *fitness*.

$$\text{myFitness} = \sum_{i=0}^{n-1} \text{distância}(\text{Porto}_{i-1}, \text{Porto}_i) + 10000 \quad (2.2)$$

Então uma permutação é gerada por meio do pareamento de cada alelo com sua posição no cromossomo, ordenando os pares em ordem crescente (TOSO; RESENDE, 2015).

2.2.2 brkga

Outra interface que vemos na API é a *brkga*, onde podemos mudar os parâmetros listados abaixo:

- $\text{BRKGA}(n, p, p_e, p_m, rho, K = 1)$
 - n : número de alelos em cada cromossomo;
 - p : número de elementos em cada população;
 - p_e : proporção da população composta por indivíduos elite;
 - p_m : proporção da população composta por mutantes introduzidos na população a cada geração;
 - rho : probabilidade de um filho herdar o alelo de seu genitor elite;
 - K : número de populações independentes;

3 Resultados e discussão

3.1 Obtenção da base de dados

Para a realização dos experimentos foram utilizadas as instâncias de testes propostas em (RAKKE et al., 2012). Essas instâncias são baseadas em oito das clássicas instâncias do PCV, possuem entre 14 e 48 portos e para cada uma delas foram criadas 30 instâncias que diferem apenas no limite de calado dos portos. Elas podem ser encontradas através do link: <http://tspdl.jgr.no/>¹.

Tabela 1 – Conjunto de instâncias

Nome	Número de portos
burma	14
bayg	29
fri	26
gr	17
gr	21
gr	48
ulysses	16
ulysses	22

3.2 Simulações e resultados

Para a execução dos testes foram feitas duas simulações, com 10 repetições cada, alterando os parâmetros da API. Os critérios de parada utilizados foram até que o número de gerações chegasse a mil ou o tempo de execução chegasse a 10 segundos, o que acontecer primeiro. Os teste foram realizados na plataforma Ubuntu 22.04 com processador Intel Xeon de 8 núcleos e Memória RAM de 32 GB.

A primeira simulação teve os parâmetros padrões da API, referentes a Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros dos testes da primeira simulação

Tamanho da população (p)	500
Número de indivíduos elite (p_e)	0,2
Número de indivíduos mutantes (p_m)	0,1
Probabilidade do descendente herdar alelo do pai elite (ρ_{hoe})	0,7
Número de populações (K)	3

¹ Último acesso em 07-10-2022

A Figura 4 mostra a variação de soluções encontradas pela primeira simulação. Pelo boxplot observa-se que em geral as soluções são bem consistentes, principalmente na instâncias *fri26*. Mas a instância com mais portas, *gr48*, teve uma variação mais alta que as demais, encontrada soluções entre 5.174 e 8726.

A Figura 5 mostra a variação de tempo de execução de cada solução encontrada pela primeira simulação. Os boxplots mostram variação muito alta com muitos outliers em todas as instâncias, em que grande parte chega a atingir o tempo máximo de execução de 10 segundos do critério de parada do algoritmo.

O tempo total para executar a segunda simulação foi de 1 hora, 11 minutos e 58 segundos (01:11:58).

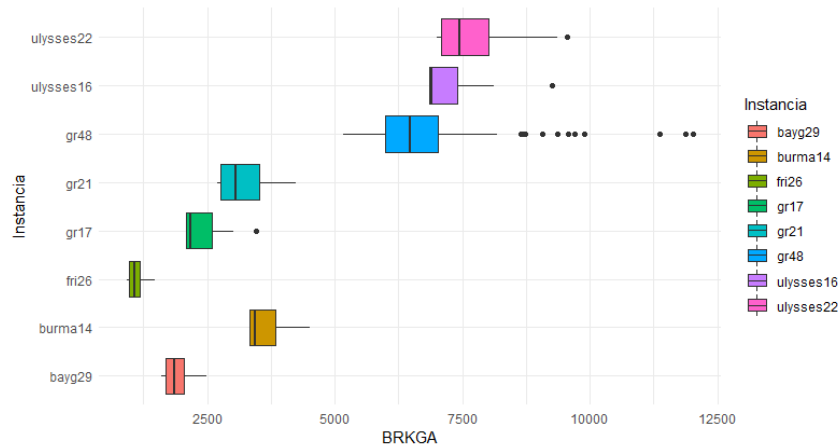


Figura 4 – Boxplot das soluções de cada repetição da primeira simulação

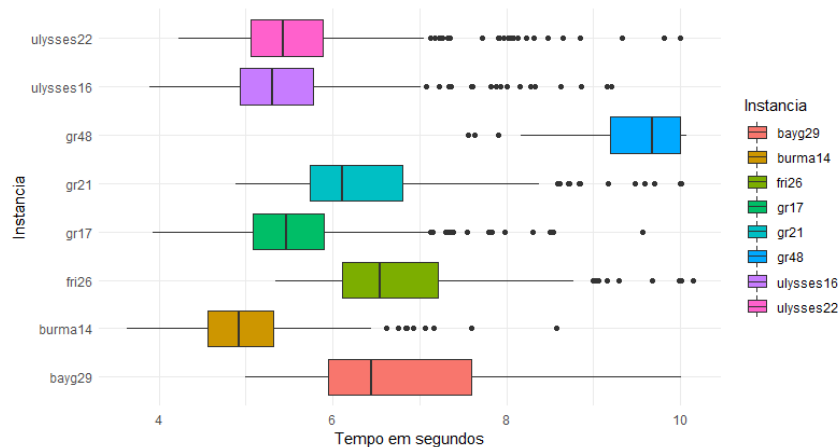


Figura 5 – Boxplot dos tempos de execução de cada repetição da primeira simulação

As Tabelas 3 até 10 são comparações entre o algoritmo proposto e o *Branch-Cut-and-Price* (BCP) e o VNS de (BATTARRA et al., 2014), pois é um dos algoritmos exatos que chegou a melhor soluções para o conjunto de instâncias. Foi analisado se o tempo de execução do algoritmo do BRKGA foi menor ou igual ao tempo de execução do BCP e se chegou na solução ótima, destacados em negrito.

Na primeira coluna está o nome da instância, nas colunas seguintes estão a solução encontrada por cada algoritmo e seu respectivo tempo de execução (em segundos).

Analisando os resultados 204 (85%) instâncias das 240 conseguiram chegar no resultado ótimo do BCP. Dentre elas, 149 (62%) foram obtidas com um tempo menor de processamento, onde se mostram mais eficientes em instâncias maiores como a *gr21* e as *ulysses*.

Vale destacar que o algoritmo proposto atingiu valores ótimos para todas as instâncias *burma14*, *gr17* e *gr21*.

As instâncias *gr48* foram as que o algoritmo proposto atingiu menos a melhor solução, mas algumas talvez não chegaram devido ao critério de parada de dez segundos. Para as demais que não atingiram as melhores solução tem um tempo de execução de sobra, onde poderia-se aumentar a população para preencher essa folga.

Tabela 3 – Resultados da primeira simulação para instâncias *Burma14*

Instância	BCP		VNS		BRKGA	
	Sol.	Tempo	Sol.	Tempo	Sol.	Tempo
burma_14_10_1	3416	0.38	3416	-	3416	5.03
burma_14_10_2	3323	0.72	3323	-	3323	4.55
burma_14_10_3	3323	0.41	3323	-	3323	4.61
burma_14_10_4	3751	0.66	3751	-	3751	5.65
burma_14_10_5	3323	0.38	3323	-	3323	6.20
burma_14_10_6	3323	0.65	3323	-	3323	4.19
burma_14_10_7	3323	0.47	3323	-	3323	4.91
burma_14_10_8	3346	0.37	3346	-	3346	4.88
burma_14_10_9	3416	0.52	3416	-	3416	4.20
burma_14_10_10	3323	0.66	3323	-	3323	5.14
burma_14_25_1	4036	0.34	4036	-	4036	5.02
burma_14_25_2	3465	0.37	3465	-	3465	5.03
burma_14_25_3	3336	0.31	3336	-	3336	4.21
burma_14_25_4	3696	0.36	3696	-	3696	4.52
burma_14_25_5	3346	0.45	3346	-	3346	4.68
burma_14_25_6	3610	0.32	3610	-	3610	6.13
burma_14_25_7	3346	0.37	3346	-	3346	5.56
burma_14_25_8	3371	0.45	3371	-	3371	4.19
burma_14_25_9	3834	0.38	3834	-	3834	4.79
burma_14_25_10	3928	0.35	3928	-	3928	4.43
burma_14_50_1	4412	0.32	4412	-	4412	5.17
burma_14_50_2	3748	0.33	3748	-	3748	5.05
burma_14_50_3	3870	0.33	3870	-	3870	6.04
burma_14_50_4	3323	0.31	3323	-	3323	5.09
burma_14_50_5	3524	0.43	3524	-	3524	4.52
burma_14_50_6	3846	0.32	3846	-	3846	4.77
burma_14_50_7	3408	0.37	3408	-	3408	5.31
burma_14_50_8	3506	0.38	3506	-	3506	4.41
burma_14_50_9	4519	0.34	4519	-	4519	5.52
burma_14_50_10	4467	0.32	4467	-	4467	4.48

Tabela 4 – Resultados da primeira simulação para instâncias *Bayg29*

Instância	BCP		VNS		BRKGA	
	Sol.	Tempo	Sol.	Tempo	Sol.	Tempo
bayg_29_10_1	1610	10.98	1610	-	1610	5.49
bayg_29_10_2	1654	9.90	1654	-	1654	5.22
bayg_29_10_3	1753	11.73	1753	-	1753	6.29
bayg_29_10_4	1622	8.32	1622	-	1622	6.77
bayg_29_10_5	1645	12.59	1645	-	1645	5.63
bayg_29_10_6	1622	10.16	1622	-	1622	6.25
bayg_29_10_7	1833	11.08	1833	-	1833	6.04
bayg_29_10_8	2114	17.69	2114	-	2114	6.02
bayg_29_10_9	1628	14.96	1628	-	1628	6.71
bayg_29_10_10	1655	13.51	1655	-	1655	5.42
bayg_29_25_1	2027	10.53	2027	-	2053	5.55
bayg_29_25_2	1655	14.43	1655	-	1655	4.99
bayg_29_25_3	1827	16.52	1827	-	1832	5.44
bayg_29_25_4	1799	10.17	1799	-	1831	6.52
bayg_29_25_5	1709	15.12	1709	-	1709	5.43
bayg_29_25_6	1841	9.79	1841	-	1841	6.28
bayg_29_25_7	1805	9.08	1805	-	1805	6.02
bayg_29_25_8	1718	10.97	1718	-	1718	6.15
bayg_29_25_9	1683	8.05	1683	-	1683	6.22
bayg_29_25_10	1862	6.99	1862	-	1862	8.57
bayg_29_50_1	1928	14.16	1928	-	1932	8.55
bayg_29_50_2	2255	11.27	2255	-	2255	9.55
bayg_29_50_3	2093	11.04	2093	-	2093	8.77
bayg_29_50_4	2019	9.18	2019	-	2019	7.07
bayg_29_50_5	1785	8.65	1785	-	1787	6.63
bayg_29_50_6	2340	11.19	2340	-	2340	5.88
bayg_29_50_7	2400	11.32	2400	-	2400	7.19
bayg_29_50_8	2204	34.68	2204	-	2228	6.86
bayg_29_50_9	1987	12.99	1987	-	1997	7.12
bayg_29_50_10	1899	10.16	1899	-	1899	6.77

Tabela 5 – Resultados da primeira simulação para instâncias *Fri26*

Instância	BCP		VNS		BRKGA	
	Sol.	Tempo	Sol.	Tempo	Sol.	Tempo
fri_26_10_1	937	11.99	937	-	937	6.73
fri_26_10_2	937	11.35	937	-	937	7.13
fri_26_10_3	1009	14.54	1009	-	1009	6.31
fri_26_10_4	955	12.61	955	-	955	7.55
fri_26_10_5	997	21.95	997	-	997	7.02
fri_26_10_6	937	8.54	937	-	937	5.93
fri_26_10_7	1039	14.24	1039	-	1044	6.00
fri_26_10_8	953	8.33	953	-	953	7.01
fri_26_10_9	937	11.18	937	-	937	9.29
fri_26_10_10	937	9.98	937	-	937	5.91
fri_26_25_1	1055	14.70	1055	-	1072	6.58
fri_26_25_2	1201	26.49	1201	-	1204	5.81
fri_26_25_3	1139	24.34	1139	-	1139	6.77
fri_26_25_4	1233	24.35	1233	-	1233	6.25
fri_26_25_5	1017	14.96	1017	-	1037	7.58
fri_26_25_6	1172	14.79	1172	-	1172	5.78
fri_26_25_7	1101	19.01	1101	-	1101	8.03
fri_26_25_8	955	6.46	955	-	955	7.08
fri_26_25_9	1081	10.24	1081	-	1081	6.48
fri_26_25_10	1093	9.22	1093	-	1093	7.80
fri_26_50_1	1273	16.64	1273	-	1273	5.89
fri_26_50_2	1045	22.21	1045	-	1045	6.49
fri_26_50_3	1035	12.52	1035	-	1039	6.50
fri_26_50_4	1185	12.13	1185	-	1185	7.14
fri_26_50_5	1185	12.57	1185	-	1185	7.27
fri_26_50_6	1158	9.90	1158	-	1158	6.89
fri_26_50_7	1150	14.74	1150	-	1152	6.31
fri_26_50_8	1441	22.36	1441	-	1441	6.47
fri_26_50_9	1267	28.57	1267	-	1267	5.94
fri_26_50_10	1048	11.96	1048	-	1048	5.88

Tabela 6 – Resultados da primeira simulação para instâncias *Gr17*

Instância	BCP		VNS		BRKGA	
	Sol.	Tempo	Sol.	Tempo	Sol.	Tempo
gr_17_10_1	2153	21.86	2153	-	2153	5.29
gr_17_10_2	2165	28.69	2165	-	2165	4.97
gr_17_10_3	2085	34.60	2085	-	2085	5.53
gr_17_10_4	2590	18.36	2590	-	2590	5.35
gr_17_10_5	2085	23.95	2085	-	2085	4.71
gr_17_10_6	2085	24.90	2085	-	2085	4.95
gr_17_10_7	2085	26.33	2085	-	2085	5.68
gr_17_10_8	2085	2.71	2085	-	2085	7.05
gr_17_10_9	2085	25.06	2085	-	2085	5.88
gr_17_10_10	2085	46.16	2085	-	2085	5.37
gr_17_25_1	2265	3.18	2265	-	2265	5.20
gr_17_25_2	2505	16.48	2505	-	2505	5.75
gr_17_25_3	2270	4.30	2270	-	2270	6.55
gr_17_25_4	2103	20.10	2103	-	2103	5.52
gr_17_25_5	2088	22.16	2088	-	2088	4.89
gr_17_25_6	2160	9.34	2160	-	2160	6.05
gr_17_25_7	2085	15.93	2085	-	2085	6.42
gr_17_25_8	2088	10.47	2088	-	2088	5.20
gr_17_25_9	2138	1.96	2138	-	2138	7.32
gr_17_25_10	2675	8.25	2675	-	2675	5.00
gr_17_50_1	2743	9.46	2743	-	2743	5.00
gr_17_50_2	2216	6.67	2216	-	2216	4.83
gr_17_50_3	3000	1.77	3000	-	3000	4.88
gr_17_50_4	2946	4.73	2946	-	2946	4.96
gr_17_50_5	2205	19.37	2205	-	2205	5.44
gr_17_50_6	2579	2.63	2579	-	2579	5.31
gr_17_50_7	2812	2.01	2812	-	2812	6.87
gr_17_50_8	3014	1.14	3014	-	3014	4.68
gr_17_50_9	3454	1.73	3454	-	3454	5.15
gr_17_50_10	2134	6.52	2134	-	2134	6.66

Tabela 7 – Resultados da primeira simulação para instâncias *Gr21*

Instância	BCP		VNS		BRKGA	
	Sol.	Tempo	Sol.	Tempo	Sol.	Tempo
gr_21_10_1	2707	18.77	2707	-	2707	6.12
gr_21_10_2	3002	8.58	3002	-	3002	5.63
gr_21_10_3	2851	11.62	2851	-	2851	5.62
gr_21_10_4	2760	10.25	2760	-	2760	7.69
gr_21_10_5	2707	8.56	2707	-	2707	7.35
gr_21_10_6	2760	7.76	2760	-	2760	5.78
gr_21_10_7	3093	12.58	3093	-	3093	8.31
gr_21_10_8	2962	15.88	2962	-	2962	5.71
gr_21_10_9	2787	11.90	2787	-	2787	6.27
gr_21_10_10	2707	11.32	2707	-	2707	5.99
gr_21_25_1	2788	9.32	2788	-	2788	5.48
gr_21_25_2	2946	7.43	2946	-	2946	7.24
gr_21_25_3	3109	12.53	3109	-	3109	6.35
gr_21_25_4	2707	6.01	2707	-	2707	7.73
gr_21_25_5	3159	23.31	3159	-	3159	8.83
gr_21_25_6	3159	15.72	3159	-	3159	7.61
gr_21_25_7	2921	9.45	2921	-	2921	6.32
gr_21_25_8	3421	21.77	3421	-	3421	5.94
gr_21_25_9	2709	3.74	2709	-	2709	6.73
gr_21_25_10	2707	6.26	2707	-	2707	5.26
gr_21_50_1	3115	8.34	3115	-	3115	5.78
gr_21_50_2	4041	30.70	4041	-	4041	6.09
gr_21_50_3	3892	7.82	3892	-	3892	6.37
gr_21_50_4	3570	10.64	3570	-	3570	5.70
gr_21_50_5	4132	5.32	4132	-	4132	5.93
gr_21_50_6	3417	7.43	3417	-	3417	7.16
gr_21_50_7	4249	7.71	4249	-	4249	6.67
gr_21_50_8	3296	5.85	3296	-	3296	5.84
gr_21_50_9	4186	8.88	4186	-	4186	6.15
gr_21_50_10	3483	11.47	3483	-	3483	6.43

Tabela 8 – Resultados da primeira simulação para instâncias *Gr48*

Instância	BCP		VNS		BRKGA	
	Sol.	Tempo	Sol.	Tempo	Sol.	Tempo
gr_48_10_1	5524	813.29	5524	-	5561	8.65
gr_48_10_2	5895	341.27	5895	-	5806	9.29
gr_48_10_3	5754	3314.02	5754	-	5465	10.00
gr_48_10_4	5588	7057.36	5588	-	5347	8.98
gr_48_10_5	6159	496.29	6159	-	5839	10.01
gr_48_10_6	5760	41.04	5760	-	5867	9.37
gr_48_10_7	5955	22.79	5955	-	5174	9.58
gr_48_10_8	5562	188.77	5562	-	5285	9.53
gr_48_10_9	5792	892.87	5792	-	5673	8.81
gr_48_10_10	6014	359.47	6014	-	5180	10.00
gr_48_25_1	5524	1073.43	5524	-	5711	8.60
gr_48_25_2	5895	361.90	5895	-	6164	9.41
gr_48_25_3	5754	47.85	5754	-	5943	9.94
gr_48_25_4	5588	126.05	5588	-	5845	10.00
gr_48_25_5	6159	1793.96	6159	-	6624	9.46
gr_48_25_6	5760	3053.47	5760	-	6041	9.77
gr_48_25_7	5955	172.08	5955	-	6395	9.36
gr_48_25_8	5562	1070.86	5562	-	6008	10.00
gr_48_25_9	5792	184.24	5792	-	6327	9.09
gr_48_25_10	6014	730.82	6014	-	6234	9.05
gr_48_50_1	6096	157.47	6096	-	6707	10.00
gr_48_50_2	6629	21.44	6629	-	7243	8.68
gr_48_50_3	5896	132.45	5896	-	6313	8.94
gr_48_50_4	6404	20.75	6404	-	7052	9.17
gr_48_50_5	6617	19.41	6617	-	7179	10.01
gr_48_50_6	8533	66.09	8533	-	8726	10.00
gr_48_50_7	6166	1520.10	6166	-	6308	10.00
gr_48_50_8	6535	20.93	6535	-	6992	10.00
gr_48_50_9	7150	42.73	7150	-	7638	9.25
gr_48_50_10	6331	112.13	6331	-	6761	9.15

Tabela 9 – Resultados da primeira simulação para instâncias *Ulysses16*

Instância	BCP		VNS		BRKGA	
	Sol.	Tempo	Sol.	Tempo	Sol.	Tempo
ulysses_16_10_1	6859	33.88	6859	-	6859	4.25
ulysses_16_10_2	6859	46.83	6859	-	6859	5.58
ulysses_16_10_3	6859	72.60	6859	-	6859	4.90
ulysses_16_10_4	6859	33.04	6859	-	6859	3.90
ulysses_16_10_5	6859	60.21	6859	-	6859	4.71
ulysses_16_10_6	6951	32.58	6951	-	6951	6.21
ulysses_16_10_7	6859	62.46	6859	-	6859	5.51
ulysses_16_10_8	6859	40.66	6859	-	6859	5.37
ulysses_16_10_9	6859	75.11	6859	-	6859	5.37
ulysses_16_10_10	6859	48.59	6859	-	6859	5.49
ulysses_16_25_1	6890	49.57	6890	-	6890	4.92
ulysses_16_25_2	6859	3.98	6859	-	6859	4.85
ulysses_16_25_3	6859	21.95	6859	-	6859	5.30
ulysses_16_25_4	7401	3.52	7401	-	7401	5.93
ulysses_16_25_5	7671	11.10	7671	-	7671	4.82
ulysses_16_25_6	7029	10.16	7029	-	7029	4.48
ulysses_16_25_7	7446	9.81	7446	-	7446	5.12
ulysses_16_25_8	6859	43.05	6859	-	6859	5.20
ulysses_16_25_9	6859	11.32	6859	-	6859	7.22
ulysses_16_25_10	7781	21.31	7781	-	7781	4.69
ulysses_16_50_1	7264	2.09	7264	-	7264	5.30
ulysses_16_50_2	7715	2.60	7715	-	7715	4.64
ulysses_16_50_3	9612	1.20	9612	-	9252	5.41
ulysses_16_50_4	7313	1.26	7313	-	7313	5.53
ulysses_16_50_5	6909	9.93	6909	-	6909	5.95
ulysses_16_50_6	7301	3.66	7301	-	7301	5.20
ulysses_16_50_7	8118	3.06	8118	-	8118	7.88
ulysses_16_50_8	7065	2.40	7065	-	7065	6.30
ulysses_16_50_9	6900	11.81	6900	-	6900	5.43
ulysses_16_50_10	7706	7.97	7706	-	7706	4.79

Tabela 10 – Resultados da primeira simulação para instâncias *Ulysses22*

Instância	BCP		VNS		BRKGA	
	Sol.	Tempo	Sol.	Tempo	Sol.	Tempo
ulysses_22_10_1	7013	35.76	7013	-	7013	5.82
ulysses_22_10_2	7013	26.54	7013	-	7013	5.05
ulysses_22_10_3	7013	28.06	7013	-	7013	4.93
ulysses_22_10_4	7013	19.77	7013	-	7013	5.28
ulysses_22_10_5	7013	39.26	7013	-	7013	5.72
ulysses_22_10_6	7250	40.55	7250	-	7250	5.69
ulysses_22_10_7	7246	40.20	7246	-	7246	6.70
ulysses_22_10_8	7181	55.88	7181	-	7181	6.67
ulysses_22_10_9	7047	18.25	7047	-	7047	5.50
ulysses_22_10_10	7087	17.92	7087	-	7087	6.53
ulysses_22_25_1	7083	30.63	7083	-	7083	6.42
ulysses_22_25_2	7415	19.25	7415	-	7415	4.60
ulysses_22_25_3	8177	21.95	8177	-	8177	4.68
ulysses_22_25_4	7385	28.70	7385	-	7385	4.96
ulysses_22_25_5	7449	23.58	7449	-	7449	5.74
ulysses_22_25_6	7589	32.37	7589	-	7589	4.67
ulysses_22_25_7	7729	23.91	7729	-	7729	4.86
ulysses_22_25_8	7123	17.45	7123	-	7123	6.57
ulysses_22_25_9	7176	27.08	7176	-	7176	5.20
ulysses_22_25_10	7961	22.77	7961	-	7961	6.35
ulysses_22_50_1	8290	24.18	8290	-	8290	6.43
ulysses_22_50_2	7538	16.58	7538	-	7538	4.30
ulysses_22_50_3	8833	21.75	8833	-	8833	8.13
ulysses_22_50_4	9324	38.53	9324	-	9356	5.07
ulysses_22_50_5	8284	46.11	8284	-	8284	5.18
ulysses_22_50_6	7570	10.60	7570	-	7570	4.79
ulysses_22_50_7	7897	25.41	7897	-	7897	5.88
ulysses_22_50_8	9558	20.68	9558	-	9558	4.55
ulysses_22_50_9	9021	48.15	9021	-	9021	5.65
ulysses_22_50_10	7941	15.13	7941	-	7941	5.66

A segunda simulação teve os parâmetros referentes a Tabela 11, baseada em (SILVA; LEITE; OSPINA, 2019):

Tabela 11 – Parâmetros dos testes da segunda simulação

Tamanho da população (p)	150
Número de indivíduos elite (p_e)	0,2
Número de indivíduos mutantes (p_m)	0,2
Probabilidade do descendente herdar alelo do pai elite (rho_e)	0,75
Número de populações (K)	3

A Figura 7 mostra a variação de soluções encontradas pela segunda simulação. Pelo boxplot observa-se que em geral as soluções são bem consistentes, comportamento semelhante a primeira simulação. A instância com mais pontos, *gr48*, teve uma variação mais alta que as demais, encontrada soluções entre 5.188 e 8990.

A Figura ?? mostra a variação de tempo de execução de cada solução encontrada pela segunda simulação. Os boxplots mostram variação muito alta com muitos outliers em todas as instâncias, assim como na primeira simulação, porém vemos que o 3º quartil (75% das observações) das instâncias, com exceção da *ulysses22* e *gr48*, são iguais ou menores que 6 segundos. Vale apontar que menos instâncias atingiram o tempo máximo de execução de 10 segundos que a primeira simulação, enquanto na primeira foram 5 a segunda foram 3.

O tempo total para executar a segunda simulação foi de 1 hora, 11 minutos e 58 segundos (01:11:58).

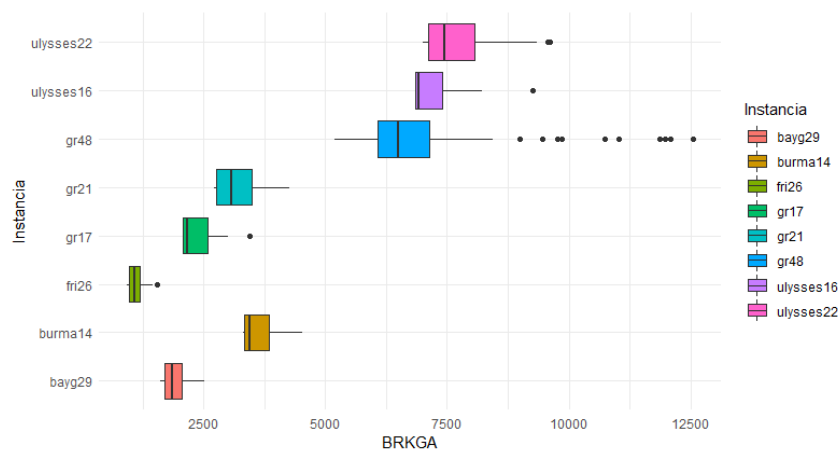


Figura 6 – Boxplot das soluções de cada repetição da segunda simulação

Analisando os resultados da segunda simulação, nas Tabelas 12 até a 19, 203 (84,58%) instâncias conseguiram chegar no resultado ótimo. Dentre elas 145 (75,86%) obtiveram um tempo melhor, onde se mostram mais rápidos principalmente em instâncias *fri26* e do *gr21*.

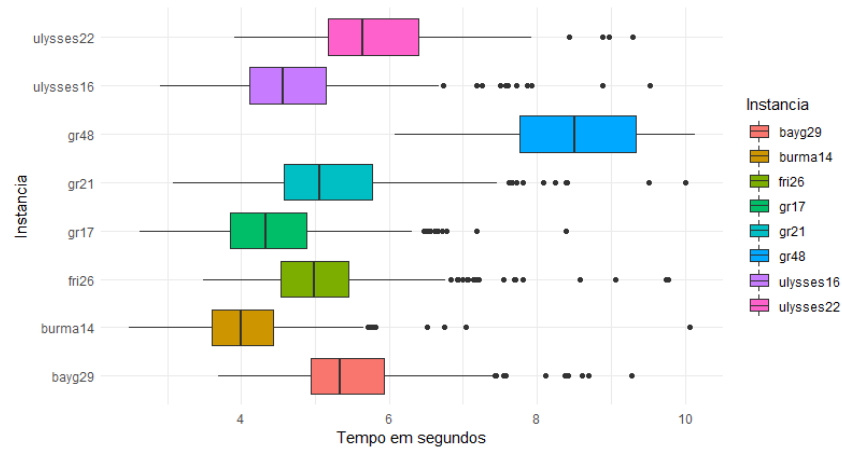


Figura 7 – Boxplot das soluções de cada repetição da segunda simulação

Vale destacar que o algoritmo proposto atingiu valores ótimos para todas as instâncias *burma14* e *gr17*, assim como na primeira simulação.

Assim como na primeira simulação as instâncias *gr48* foram a que menos atingiram a melhor solução, mas algumas talvez não tenha chegado devido ao critério de parada de dez segundos.

Tabela 12 – Resultados da segunda simulação para instâncias *Burma14*

Instância	BCP		VNS		BRKGA	
	Sol.	Tempo	Sol.	Tempo	Sol.	Tempo
burma_14_10_1	3416	0.38	3416	-	3416	3.69
burma_14_10_2	3323	0.72	3323	-	3323	3.40
burma_14_10_3	3323	0.41	3323	-	3323	3.64
burma_14_10_4	3751	0.66	3751	-	3751	3.83
burma_14_10_5	3323	0.38	3323	-	3323	3.73
burma_14_10_6	3323	0.65	3323	-	3323	4.34
burma_14_10_7	3323	0.47	3323	-	3323	3.34
burma_14_10_8	3346	0.37	3346	-	3346	3.94
burma_14_10_9	3416	0.52	3416	-	3416	3.85
burma_14_10_10	3323	0.66	3323	-	3323	3.63
burma_14_25_1	4036	0.34	4036	-	4036	5.37
burma_14_25_2	3465	0.37	3465	-	3465	3.58
burma_14_25_3	3336	0.31	3336	-	3336	2.79
burma_14_25_4	3696	0.36	3696	-	3696	2.64
burma_14_25_5	3346	0.45	3346	-	3346	3.35
burma_14_25_6	3610	0.32	3610	-	3610	3.66
burma_14_25_7	3346	0.37	3346	-	3346	5.72
burma_14_25_8	3371	0.45	3371	-	3371	3.76
burma_14_25_9	3834	0.38	3834	-	3834	3.98
burma_14_25_10	3928	0.35	3928	-	3928	3.61
burma_14_50_1	4412	0.32	4412	-	4412	4.06
burma_14_50_2	3748	0.33	3748	-	3748	4.95
burma_14_50_3	3870	0.33	3870	-	3870	3.98
burma_14_50_4	3323	0.31	3323	-	3323	5.21
burma_14_50_5	3524	0.43	3524	-	3524	4.98
burma_14_50_6	3846	0.32	3846	-	3846	4.33
burma_14_50_7	3408	0.37	3408	-	3408	3.02
burma_14_50_8	3506	0.38	3506	-	3506	4.40
burma_14_50_9	4519	0.34	4519	-	4519	5.66
burma_14_50_10	4467	0.32	4467	-	4467	3.34

Tabela 13 – Resultados da segunda simulação para instâncias *Bayg29*

Instância	BCP		VNS		BRKGA	
	Sol.	Tempo	Sol.	Tempo	Sol.	Tempo
bayg_29_10_1	1610	10.98	1610	-	1610	5.21
bayg_29_10_2	1654	9.90	1654	-	1654	4.83
bayg_29_10_3	1753	11.73	1753	-	1760	6.38
bayg_29_10_4	1622	8.32	1622	-	1622	6.03
bayg_29_10_5	1645	12.59	1645	-	1645	5.66
bayg_29_10_6	1622	10.16	1622	-	1622	5.00
bayg_29_10_7	1833	11.08	1833	-	1866	4.87
bayg_29_10_8	2114	17.69	2114	-	2114	5.61
bayg_29_10_9	1628	14.96	1628	-	1628	5.24
bayg_29_10_10	1655	13.51	1655	-	1655	6.45
bayg_29_25_1	2027	10.53	2027	-	2027	4.85
bayg_29_25_2	1655	14.43	1655	-	1655	5.86
bayg_29_25_3	1827	16.52	1827	-	1827	5.78
bayg_29_25_4	1799	10.17	1799	-	1810	5.11
bayg_29_25_5	1709	15.12	1709	-	1709	4.68
bayg_29_25_6	1841	9.79	1841	-	1841	5.85
bayg_29_25_7	1805	9.08	1805	-	1813	5.71
bayg_29_25_8	1718	10.97	1718	-	1718	4.95
bayg_29_25_9	1683	8.05	1683	-	1683	5.38
bayg_29_25_10	1862	6.99	1862	-	1862	4.98
bayg_29_50_1	1928	14.16	1928	-	1955	5.80
bayg_29_50_2	2255	11.27	2255	-	2255	5.88
bayg_29_50_3	2093	11.04	2093	-	2093	4.84
bayg_29_50_4	2019	9.18	2019	-	2023	4.89
bayg_29_50_5	1785	8.65	1785	-	1785	4.84
bayg_29_50_6	2340	11.19	2340	-	2340	4.62
bayg_29_50_7	2400	11.32	2400	-	2405	4.73
bayg_29_50_8	2204	34.68	2204	-	2233	4.34
bayg_29_50_9	1987	12.99	1987	-	2007	5.21
bayg_29_50_10	1899	10.16	1899	-	1901	6.06

Tabela 14 – Resultados da segunda simulação para instâncias *Fri26*

Instância	BCP		VNS		BRKGA	
	Sol.	Tempo	Sol.	Tempo	Sol.	Tempo
fri_26_10_1	937	11.99	937	-	937	5.41
fri_26_10_2	937	11.35	937	-	937	5.51
fri_26_10_3	1009	14.54	1009	-	1009	6.16
fri_26_10_4	955	12.61	955	-	955	5.32
fri_26_10_5	997	21.95	997	-	1002	4.57
fri_26_10_6	937	8.54	937	-	937	4.81
fri_26_10_7	1039	14.24	1039	-	1039	4.31
fri_26_10_8	953	8.33	953	-	953	4.47
fri_26_10_9	937	11.18	937	-	937	5.28
fri_26_10_10	937	9.98	937	-	937	4.62
fri_26_25_1	1055	14.70	1055	-	1055	4.81
fri_26_25_2	1201	26.49	1201	-	1201	4.43
fri_26_25_3	1139	24.34	1139	-	1139	6.08
fri_26_25_4	1233	24.35	1233	-	1233	4.43
fri_26_25_5	1017	14.96	1017	-	1034	4.80
fri_26_25_6	1172	14.79	1172	-	1172	5.55
fri_26_25_7	1101	19.01	1101	-	1101	5.49
fri_26_25_8	955	6.46	955	-	955	5.06
fri_26_25_9	1081	10.24	1081	-	1081	4.60
fri_26_25_10	1093	9.22	1093	-	1093	7.54
fri_26_50_1	1273	16.64	1273	-	1273	4.52
fri_26_50_2	1045	22.21	1045	-	1045	5.27
fri_26_50_3	1035	12.52	1035	-	1035	4.38
fri_26_50_4	1185	12.13	1185	-	1185	4.33
fri_26_50_5	1185	12.57	1185	-	1185	4.72
fri_26_50_6	1158	9.90	1158	-	1158	3.57
fri_26_50_7	1150	14.74	1150	-	1150	4.00
fri_26_50_8	1441	22.36	1441	-	1441	4.32
fri_26_50_9	1267	28.57	1267	-	1267	4.54
fri_26_50_10	1048	11.96	1048	-	1060	5.15

Tabela 15 – Resultados da segunda simulação para instâncias *Gr17*

Instância	BCP		VNS		BRKGA	
	Sol.	Tempo	Sol.	Tempo	Sol.	Tempo
gr_17_10_1	2153	21.86	2153	-	2153	3.95
gr_17_10_2	2165	28.69	2165	-	2165	3.37
gr_17_10_3	2085	34.60	2085	-	2085	4.88
gr_17_10_4	2590	18.36	2590	-	2590	3.72
gr_17_10_5	2085	23.95	2085	-	2085	4.91
gr_17_10_6	2085	24.90	2085	-	2085	4.90
gr_17_10_7	2085	26.33	2085	-	2085	5.35
gr_17_10_8	2085	2.71	2085	-	2085	3.83
gr_17_10_9	2085	25.06	2085	-	2085	3.65
gr_17_10_10	2085	46.16	2085	-	2085	3.73
gr_17_25_1	2265	3.18	2265	-	2265	3.86
gr_17_25_2	2505	16.48	2505	-	2505	3.93
gr_17_25_3	2270	4.30	2270	-	2270	3.85
gr_17_25_4	2103	20.10	2103	-	2103	6.30
gr_17_25_5	2088	22.16	2088	-	2088	3.25
gr_17_25_6	2160	9.34	2160	-	2160	4.26
gr_17_25_7	2085	15.93	2085	-	2085	4.88
gr_17_25_8	2088	10.47	2088	-	2088	6.77
gr_17_25_9	2138	1.96	2138	-	2138	3.97
gr_17_25_10	2675	8.25	2675	-	2675	4.73
gr_17_50_1	2743	9.46	2743	-	2743	4.25
gr_17_50_2	2216	6.67	2216	-	2216	4.18
gr_17_50_3	3000	1.77	3000	-	3000	2.99
gr_17_50_4	2946	4.73	2946	-	2946	4.30
gr_17_50_5	2205	19.37	2205	-	2205	5.98
gr_17_50_6	2579	2.63	2579	-	2579	4.24
gr_17_50_7	2812	2.01	2812	-	2812	5.08
gr_17_50_8	3014	1.14	3014	-	3014	4.57
gr_17_50_9	3454	1.73	3454	-	3454	4.40
gr_17_50_10	2134	6.52	2134	-	2134	4.68

Tabela 16 – Resultados da segunda simulação para instâncias *Gr21*

Instância	BCP		VNS		BRKGA	
	Sol.	Tempo	Sol.	Tempo	Sol.	Tempo
gr_21_10_1	2707	18.77	2707	-	2707	4.82
gr_21_10_2	3002	8.58	3002	-	3002	4.03
gr_21_10_3	2851	11.62	2851	-	2851	3.55
gr_21_10_4	2760	10.25	2760	-	2760	5.85
gr_21_10_5	2707	8.56	2707	-	2707	5.82
gr_21_10_6	2760	7.76	2760	-	2760	5.46
gr_21_10_7	3093	12.58	3093	-	3093	5.53
gr_21_10_8	2962	15.88	2962	-	2962	5.40
gr_21_10_9	2787	11.90	2787	-	2787	4.02
gr_21_10_10	2707	11.32	2707	-	2707	4.95
gr_21_25_1	2788	9.32	2788	-	2788	5.75
gr_21_25_2	2946	7.43	2946	-	2946	4.49
gr_21_25_3	3109	12.53	3109	-	3109	3.95
gr_21_25_4	2707	6.01	2707	-	2707	6.98
gr_21_25_5	3159	23.31	3159	-	3159	4.76
gr_21_25_6	3159	15.72	3159	-	3159	4.70
gr_21_25_7	2921	9.45	2921	-	2921	5.79
gr_21_25_8	3421	21.77	3421	-	3421	6.12
gr_21_25_9	2709	3.74	2709	-	2709	5.80
gr_21_25_10	2707	6.26	2707	-	2707	5.22
gr_21_50_1	3115	8.34	3115	-	3115	4.50
gr_21_50_2	4041	30.70	4041	-	4041	4.40
gr_21_50_3	3892	7.82	3892	-	3892	4.78
gr_21_50_4	3570	10.64	3570	-	3570	7.05
gr_21_50_5	4132	5.32	4132	-	4132	4.93
gr_21_50_6	3417	7.43	3417	-	3484	5.01
gr_21_50_7	4249	7.71	4249	-	4249	5.63
gr_21_50_8	3296	5.85	3296	-	3296	5.21
gr_21_50_9	4186	8.88	4186	-	4186	5.06
gr_21_50_10	3483	11.47	3483	-	3483	5.01

Tabela 17 – Resultados da segunda simulação para instâncias *Gr48*

instancia	bcp_sol	bcp_t	vns_sol	vns_t	BRKGA	tempo_s
gr_48_10_1	5524	813.29	5524	-	5386	9.14
gr_48_10_2	5895	341.27	5895	-	5819	8.51
gr_48_10_3	5754	3314.02	5754	-	5706	8.78
gr_48_10_4	5588	7057.36	5588	-	5484	8.17
gr_48_10_5	6159	496.29	6159	-	6188	8.16
gr_48_10_6	5760	41.04	5760	-	5848	9.29
gr_48_10_7	5955	22.79	5955	-	5394	8.08
gr_48_10_8	5562	188.77	5562	-	5188	7.63
gr_48_10_9	5792	892.87	5792	-	5351	7.84
gr_48_10_10	6014	359.47	6014	-	5519	8.75
gr_48_25_1	5524	1073.43	5524	-	5863	10.01
gr_48_25_2	5895	361.90	5895	-	6174	8.68
gr_48_25_3	5754	47.85	5754	-	6161	8.72
gr_48_25_4	5588	126.05	5588	-	5783	7.64
gr_48_25_5	6159	1793.96	6159	-	6458	8.42
gr_48_25_6	5760	3053.47	5760	-	6063	7.68
gr_48_25_7	5955	172.08	5955	-	6417	10.00
gr_48_25_8	5562	1070.86	5562	-	5913	7.98
gr_48_25_9	5792	184.24	5792	-	6439	10.00
gr_48_25_10	6014	730.82	6014	-	6639	9.12
gr_48_50_1	6096	157.47	6096	-	6635	7.89
gr_48_50_2	6629	21.44	6629	-	7266	7.29
gr_48_50_3	5896	132.45	5896	-	6375	9.20
gr_48_50_4	6404	20.75	6404	-	6466	10.00
gr_48_50_5	6617	19.41	6617	-	7112	7.19
gr_48_50_6	8533	66.09	8533	-	8990	8.38
gr_48_50_7	6166	1520.10	6166	-	6448	9.13
gr_48_50_8	6535	20.93	6535	-	7115	7.29
gr_48_50_9	7150	42.73	7150	-	7741	9.41
gr_48_50_10	6331	112.13	6331	-	6683	8.75

Tabela 18 – Resultados da segunda simulação para instâncias *Ulysses16*

Instância	BCP		VNS		BRKGA	
	Sol.	Tempo	Sol.	Tempo	Sol.	Tempo
ulysses_16_10_1	6859	33.88	6859	-	6859	4.38
ulysses_16_10_2	6859	46.83	6859	-	6859	5.03
ulysses_16_10_3	6859	72.60	6859	-	6859	5.62
ulysses_16_10_4	6859	33.04	6859	-	6859	6.21
ulysses_16_10_5	6859	60.21	6859	-	6859	5.98
ulysses_16_10_6	6951	32.58	6951	-	6951	5.33
ulysses_16_10_7	6859	62.46	6859	-	6859	6.09
ulysses_16_10_8	6859	40.66	6859	-	6859	5.42
ulysses_16_10_9	6859	75.11	6859	-	6859	4.05
ulysses_16_10_10	6859	48.59	6859	-	6859	5.06
ulysses_16_25_1	6890	49.57	6890	-	6890	4.20
ulysses_16_25_2	6859	3.98	6859	-	6859	6.28
ulysses_16_25_3	6859	21.95	6859	-	6859	6.61
ulysses_16_25_4	7401	3.52	7401	-	7401	4.32
ulysses_16_25_5	7671	11.10	7671	-	7671	3.90
ulysses_16_25_6	7029	10.16	7029	-	7029	3.57
ulysses_16_25_7	7446	9.81	7446	-	7446	4.94
ulysses_16_25_8	6859	43.05	6859	-	6859	4.44
ulysses_16_25_9	6859	11.32	6859	-	6859	3.45
ulysses_16_25_10	7781	21.31	7781	-	7781	3.99
ulysses_16_50_1	7264	2.09	7264	-	7264	6.45
ulysses_16_50_2	7715	2.60	7715	-	7715	4.26
ulysses_16_50_3	9612	1.20	9612	-	9252	4.00
ulysses_16_50_4	7313	1.26	7313	-	7313	4.38
ulysses_16_50_5	6909	9.93	6909	-	6909	4.59
ulysses_16_50_6	7301	3.66	7301	-	7301	4.93
ulysses_16_50_7	8118	3.06	8118	-	8118	4.36
ulysses_16_50_8	7065	2.40	7065	-	7065	4.05
ulysses_16_50_9	6900	11.81	6900	-	6900	4.34
ulysses_16_50_10	7706	7.97	7706	-	7706	4.15

Tabela 19 – Resultados da segunda simulação para instâncias *Ulysses22*

Instância	BCP		VNS		BRKGA	
	Sol.	Tempo	Sol.	Tempo	Sol.	Tempo
ulysses_22_10_1	7013	35.76	7013	-	7013	6.06
ulysses_22_10_2	7013	26.54	7013	-	7013	4.63
ulysses_22_10_3	7013	28.06	7013	-	7013	4.87
ulysses_22_10_4	7013	19.77	7013	-	7013	4.61
ulysses_22_10_5	7013	39.26	7013	-	7013	5.19
ulysses_22_10_6	7250	40.55	7250	-	7250	5.73
ulysses_22_10_7	7246	40.20	7246	-	7246	7.23
ulysses_22_10_8	7181	55.88	7181	-	7181	6.15
ulysses_22_10_9	7047	18.25	7047	-	7047	5.27
ulysses_22_10_10	7087	17.92	7087	-	7087	6.82
ulysses_22_25_1	7083	30.63	7083	-	7083	7.19
ulysses_22_25_2	7415	19.25	7415	-	7415	6.97
ulysses_22_25_3	8177	21.95	8177	-	8177	5.40
ulysses_22_25_4	7385	28.70	7385	-	7385	5.62
ulysses_22_25_5	7449	23.58	7449	-	7449	5.44
ulysses_22_25_6	7589	32.37	7589	-	7589	6.68
ulysses_22_25_7	7729	23.91	7729	-	7729	8.97
ulysses_22_25_8	7123	17.45	7123	-	7123	7.57
ulysses_22_25_9	7176	27.08	7176	-	7176	7.04
ulysses_22_25_10	7961	22.77	7961	-	7961	6.42
ulysses_22_50_1	8290	24.18	8290	-	8290	7.01
ulysses_22_50_2	7538	16.58	7538	-	7538	4.80
ulysses_22_50_3	8833	21.75	8833	-	8833	6.17
ulysses_22_50_4	9324	38.53	9324	-	9356	7.77
ulysses_22_50_5	8284	46.11	8284	-	8284	4.85
ulysses_22_50_6	7570	10.60	7570	-	7570	5.61
ulysses_22_50_7	7897	25.41	7897	-	7897	7.91
ulysses_22_50_8	9558	20.68	9558	-	9558	6.22
ulysses_22_50_9	9021	48.15	9021	-	9021	5.34
ulysses_22_50_10	7941	15.13	7941	-	7941	4.16

4 Conclusões e Trabalhos Futuros

Este trabalho abordou o Problema do Caixeiro Viajante com Limite de Calado através da meta-heurística BRKGA. Onde foi testado sua eficiência com instâncias presentes na literatura sobre o PCVLC. O principal objetivo era encontrar soluções viáveis em menor tempo que as soluções da literatura.

Nas simulações feitas o algoritmo proposto foi capaz de encontrar soluções ótimas para quase todas as instâncias. Falando apenas de solução ótima o algoritmo conseguiu alcançar mais de 85% em ambas as simulações. Mas apenas 62% das soluções da primeira simulação atingiu valor ótimo e em menor tempo em relação ao algoritmo BCP , e 75% na segunda simulação. Sendo ainda resultados muito bons, a segunda simulação mostra-se mais eficiente.

Quanto aos trabalhos futuros, pode-se testar outra calibragem de parâmetros, aumentando o número de população de cada geração. Aumentar o números de repetições nas simulações. E implementar o algoritmo de busca local com o objetivo de melhorar os resultados.

Referências

BATTARRA, M. et al. Exact algorithms for the traveling salesman problem with draft limits. *European Journal of Operational Research*, Elsevier, v. 235, n. 1, p. 115–128, 2014. Citado na página [8](#).

GONÇALVES, J. F.; RESENDE, M. G. Biased random-key genetic algorithms for combinatorial optimization. *Journal of Heuristics*, Springer, v. 17, n. 5, p. 487–525, 2011. Citado na página [4](#).

MACHADO, V. M. C.; OCHI, L. S.; NEVES, T. A. Grasp para o problema do caixeiro viajante com limite de calado. In: *Anais do 12º Congresso Brasileiro de Inteligência Computacional*. [S.l.: s.n.], 2015. p. 1–6. Citado na página [2](#).

RAKKE, J. G. et al. The traveling salesman problem with draft limits. *Computers & Operations Research*, Elsevier, v. 39, n. 9, p. 2161–2167, 2012. Citado 4 vezes nas páginas [5](#), [1](#), [2](#) e [7](#).

RESENDE, M. G. Biased random-key genetic algorithms. In: *Talk given at XLV Symposium of the Brazilian Operational Research Society (XLV SBPO) Natal, RN*. [S.l.: s.n.], 2013. Citado 2 vezes nas páginas [5](#) e [4](#).

SILVA, G. C. d.; LEITE, A.; OSPINA, R. Brkga com busca local aplicado ao problema da diversidade maxima. *SBPO*, 2019. Citado na página [18](#).

TODOSIJEVIĆ, R. et al. A general variable neighborhood search variants for the travelling salesman problem with draft limits. *Optimization Letters*, Springer, v. 11, n. 6, p. 1047–1056, 2017. Citado na página [1](#).

TONETTO, L. et al. Uma temática. Citado na página [1](#).

TOSO, R. F.; RESENDE, M. G. A c++ application programming interface for biased random-key genetic algorithms. *Optimization Methods and Software*, Taylor & Francis, v. 30, n. 1, p. 81–93, 2015. Citado 2 vezes nas páginas [5](#) e [6](#).

WIKIPÉDIA. *Interface de programação de aplicações*. 2022. Disponível em:

https://pt.wikipedia.org/wiki/Interface_de_programa%C3%A7%C3%A3o_de_aplica%C3%A7%C3%B5es. Citado na página [5](#).

Anexos

ANEXO A – *Estatísticas descritivas referente a primeira simulação*

Instância	Solução			Tempo		
	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
bayg_29_10_1	1610	1623.5	1646	5.05	5.548	6.49
bayg_29_10_2	1654	1672.9	1704	5.14	5.669	6.71
bayg_29_10_3	1753	1767.2	1782	5.79	6.459	8.79
bayg_29_10_4	1622	1649.2	1685	5.45	6.195	7.59
bayg_29_10_5	1645	1654.3	1673	5.32	6.226	8.76
bayg_29_10_6	1622	1643.6	1673	5.72	6.268	6.94
bayg_29_10_7	1833	1884.0	1945	5.19	6.179	7.61
bayg_29_10_8	2114	2135.5	2177	5.00	5.919	7.85
bayg_29_10_9	1628	1662.2	1697	5.42	6.189	7.52
bayg_29_10_10	1655	1690.9	1726	5.38	6.230	8.79
bayg_29_25_1	2053	2095.8	2160	5.37	6.029	7.10
bayg_29_25_2	1655	1661.2	1686	4.99	5.971	6.88
bayg_29_25_3	1832	1860.0	1887	5.44	6.342	7.74
bayg_29_25_4	1831	1858.0	1930	5.45	6.218	7.53
bayg_29_25_5	1709	1737.0	1811	5.26	7.282	10.00
bayg_29_25_6	1841	1877.9	1911	6.11	6.721	8.30
bayg_29_25_7	1805	1851.1	1937	5.24	6.048	7.06
bayg_29_25_8	1718	1726.2	1755	5.73	6.338	7.03
bayg_29_25_9	1683	1686.8	1693	6.22	8.847	10.01
bayg_29_25_10	1862	1870.6	1905	7.62	8.611	9.55
bayg_29_50_1	1932	1962.0	2017	8.13	8.792	10.00
bayg_29_50_2	2255	2295.6	2419	7.52	8.760	10.00
bayg_29_50_3	2093	2118.1	2160	8.47	9.060	10.00
bayg_29_50_4	2019	2069.2	2119	5.80	6.618	8.91
bayg_29_50_5	1787	1841.1	1981	6.20	6.809	8.34
bayg_29_50_6	2340	2378.7	2411	5.88	6.692	8.03
bayg_29_50_7	2400	2432.4	2495	6.58	7.522	10.01
bayg_29_50_8	2228	2299.1	2369	6.86	7.679	8.87
bayg_29_50_9	1997	2014.5	2038	6.39	7.539	10.00
bayg_29_50_10	1899	1917.3	1990	6.14	6.913	8.74

Continua na próxima página

Instância	Solução			Tempo		
	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
burma_14_10_1	3416	3416.0	3416	4.00	5.015	6.75
burma_14_10_2	3323	3323.0	3323	4.19	4.990	5.71
burma_14_10_3	3323	3323.0	3323	4.08	4.566	5.34
burma_14_10_4	3751	3751.0	3751	4.30	4.863	5.65
burma_14_10_5	3323	3323.0	3323	3.64	5.027	6.44
burma_14_10_6	3323	3323.0	3323	4.19	4.799	5.45
burma_14_10_7	3323	3323.0	3323	4.44	5.205	6.85
burma_14_10_8	3346	3346.0	3346	4.27	5.267	6.10
burma_14_10_9	3416	3416.0	3416	4.20	4.906	5.77
burma_14_10_10	3323	3323.0	3323	3.82	4.647	5.17
burma_14_25_1	4036	4036.0	4036	4.68	5.166	6.84
burma_14_25_2	3465	3465.0	3465	4.00	4.675	5.99
burma_14_25_3	3336	3336.0	3336	4.21	5.324	8.57
burma_14_25_4	3696	3696.0	3696	4.50	5.264	6.01
burma_14_25_5	3346	3346.0	3346	4.16	4.820	5.79
burma_14_25_6	3610	3610.0	3610	4.69	5.196	6.13
burma_14_25_7	3346	3346.0	3346	4.10	5.198	7.59
burma_14_25_8	3371	3371.0	3371	4.12	4.860	6.11
burma_14_25_9	3834	3834.0	3834	4.06	5.299	6.93
burma_14_25_10	3928	3928.0	3928	4.16	4.960	5.93
burma_14_50_1	4412	4412.0	4412	4.46	4.942	6.10
burma_14_50_2	3748	3748.0	3748	3.82	5.049	5.79
burma_14_50_3	3870	3870.0	3870	4.35	4.904	6.04
burma_14_50_4	3323	3323.0	3323	4.30	5.039	6.23
burma_14_50_5	3524	3524.0	3524	4.25	5.070	7.16
burma_14_50_6	3846	3846.0	3846	4.33	4.898	6.23
burma_14_50_7	3408	3408.0	3408	4.29	5.036	5.70
burma_14_50_8	3506	3506.0	3506	3.68	4.654	5.44
burma_14_50_9	4519	4519.0	4519	4.45	5.548	7.06
burma_14_50_10	4467	4467.0	4467	4.15	4.971	6.31
fri_26_10_1	937	943.1	962	5.88	7.325	10.00
fri_26_10_2	937	938.6	953	6.47	7.227	8.14
fri_26_10_3	1009	1014.3	1034	6.31	7.495	9.15
fri_26_10_4	955	956.5	962	5.53	6.511	7.79
fri_26_10_5	997	1013.9	1056	6.35	7.143	10.00
fri_26_10_6	937	950.8	985	5.93	6.514	7.79

Continua na próxima página

Instância	Solução			Tempo		
	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
fri_26_10_7	1044	1053.4	1072	5.71	6.414	7.22
fri_26_10_8	953	956.4	987	6.51	7.190	8.77
fri_26_10_9	937	937.0	937	5.86	7.299	9.29
fri_26_10_10	937	946.4	955	5.34	6.543	7.98
fri_26_25_1	1072	1072.2	1074	5.57	6.529	7.84
fri_26_25_2	1204	1209.6	1213	5.68	6.570	8.49
fri_26_25_3	1139	1150.1	1181	5.48	6.376	7.69
fri_26_25_4	1233	1255.2	1277	5.39	6.937	10.01
fri_26_25_5	1037	1046.1	1071	5.45	6.705	8.34
fri_26_25_6	1172	1199.4	1232	5.78	6.453	7.91
fri_26_25_7	1101	1101.9	1110	5.66	6.731	8.03
fri_26_25_8	955	956.3	968	5.94	6.920	8.68
fri_26_25_9	1081	1081.8	1083	5.56	6.318	7.55
fri_26_25_10	1093	1094.4	1103	6.48	7.828	9.00
fri_26_50_1	1273	1299.6	1333	5.76	7.117	10.14
fri_26_50_2	1045	1063.1	1104	5.86	6.778	9.15
fri_26_50_3	1039	1080.7	1096	6.50	7.853	9.99
fri_26_50_4	1185	1187.9	1196	5.56	6.662	8.28
fri_26_50_5	1185	1197.4	1218	5.83	6.605	7.89
fri_26_50_6	1158	1163.1	1190	5.38	6.042	7.28
fri_26_50_7	1152	1174.4	1205	5.74	6.660	9.67
fri_26_50_8	1441	1445.3	1474	5.58	6.252	6.98
fri_26_50_9	1267	1274.7	1302	5.40	6.257	8.06
fri_26_50_10	1048	1069.2	1082	5.35	6.214	8.37
gr_17_10_1	2153	2153.0	2153	4.29	5.507	6.92
gr_17_10_2	2165	2165.0	2165	4.67	5.491	6.94
gr_17_10_3	2085	2085.0	2085	5.18	5.948	7.31
gr_17_10_4	2590	2590.0	2590	4.80	5.579	7.12
gr_17_10_5	2085	2085.0	2085	4.71	5.742	7.55
gr_17_10_6	2085	2085.0	2085	4.86	5.339	5.99
gr_17_10_7	2085	2085.0	2085	5.11	6.279	8.50
gr_17_10_8	2085	2085.0	2085	4.76	6.000	7.37
gr_17_10_9	2085	2085.0	2085	5.10	5.766	6.68
gr_17_10_10	2085	2085.0	2085	5.06	5.636	7.54
gr_17_25_1	2265	2265.0	2265	5.20	5.828	7.30
gr_17_25_2	2505	2505.0	2505	4.69	6.047	9.56

Continua na próxima página

Instância	Solução			Tempo		
	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
gr_17_25_3	2270	2270.0	2270	5.70	6.207	7.15
gr_17_25_4	2103	2103.0	2103	4.76	5.413	6.23
gr_17_25_5	2088	2088.0	2088	4.79	5.403	6.94
gr_17_25_6	2160	2160.0	2160	4.46	5.460	6.05
gr_17_25_7	2085	2085.0	2085	3.93	5.177	6.42
gr_17_25_8	2088	2088.0	2088	5.00	5.651	7.83
gr_17_25_9	2138	2138.0	2138	4.86	5.706	7.32
gr_17_25_10	2675	2675.0	2675	4.52	5.161	5.87
gr_17_50_1	2743	2743.0	2743	4.44	5.319	7.35
gr_17_50_2	2216	2216.0	2216	4.51	5.449	7.98
gr_17_50_3	3000	3000.0	3000	4.14	5.091	7.79
gr_17_50_4	2946	2946.0	2946	4.47	5.304	7.39
gr_17_50_5	2205	2205.0	2205	4.78	5.296	6.08
gr_17_50_6	2579	2579.0	2579	5.02	5.455	6.14
gr_17_50_7	2812	2812.0	2812	4.99	5.616	6.87
gr_17_50_8	3014	3014.0	3014	4.68	5.502	6.83
gr_17_50_9	3454	3454.0	3454	4.99	6.215	8.54
gr_17_50_10	2134	2134.0	2134	4.45	5.580	7.82
gr_21_10_1	2707	2707.0	2707	5.16	6.065	7.68
gr_21_10_2	3002	3002.0	3002	4.96	6.509	7.66
gr_21_10_3	2851	2851.0	2851	5.45	6.205	7.67
gr_21_10_4	2760	2760.0	2760	5.08	6.358	8.38
gr_21_10_5	2707	2707.0	2707	4.90	6.245	7.89
gr_21_10_6	2760	2767.0	2795	5.27	5.865	6.33
gr_21_10_7	3093	3100.1	3164	5.34	6.213	8.31
gr_21_10_8	2962	2979.1	3017	5.32	6.172	8.61
gr_21_10_9	2787	2787.0	2787	5.15	6.205	7.35
gr_21_10_10	2707	2721.4	2851	5.33	6.060	7.02
gr_21_25_1	2788	2788.0	2788	5.48	6.156	7.64
gr_21_25_2	2946	2966.0	2996	5.82	6.406	7.24
gr_21_25_3	3109	3109.0	3109	5.69	6.991	10.01
gr_21_25_4	2707	2707.0	2707	6.08	7.791	8.85
gr_21_25_5	3159	3168.1	3172	6.75	8.614	10.00
gr_21_25_6	3159	3159.0	3159	5.63	6.469	7.61
gr_21_25_7	2921	2921.0	2921	5.28	6.454	8.72
gr_21_25_8	3421	3431.3	3454	5.33	6.094	8.18

Continua na próxima página

Instância	Solução			Tempo		
	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
gr_21_25_9	2709	2709.0	2709	5.72	6.435	7.53
gr_21_25_10	2707	2707.0	2707	5.04	5.727	7.23
gr_21_50_1	3115	3115.0	3115	5.10	5.916	7.91
gr_21_50_2	4041	4048.6	4117	5.72	6.433	9.48
gr_21_50_3	3892	3911.2	3940	4.89	5.737	6.89
gr_21_50_4	3570	3570.0	3570	5.34	5.974	7.44
gr_21_50_5	4132	4132.0	4132	5.72	6.558	8.83
gr_21_50_6	3417	3510.2	3565	5.91	6.853	8.01
gr_21_50_7	4249	4249.0	4249	5.96	6.983	9.17
gr_21_50_8	3296	3296.0	3296	5.38	6.074	7.15
gr_21_50_9	4186	4186.0	4186	5.21	6.021	7.13
gr_21_50_10	3483	3599.5	3621	5.47	6.041	7.00
gr_48_10_1	5561	5767.5	6202	8.37	9.100	10.01
gr_48_10_2	5806	6155.9	6494	7.56	9.137	10.00
gr_48_10_3	5465	5729.3	6097	7.91	9.176	10.00
gr_48_10_4	5347	5822.3	6551	8.56	9.383	10.01
gr_48_10_5	5839	6250.5	6575	8.94	9.702	10.02
gr_48_10_6	5867	6080.7	6399	9.14	9.590	10.02
gr_48_10_7	5174	5796.9	6145	8.97	9.441	10.00
gr_48_10_8	5285	5554.7	5925	9.39	9.871	10.05
gr_48_10_9	5673	5829.9	6097	8.81	9.798	10.01
gr_48_10_10	5180	5570.9	5965	8.90	9.753	10.01
gr_48_25_1	5711	5999.6	6382	8.20	9.153	10.00
gr_48_25_2	6164	6569.6	6796	9.20	9.690	10.01
gr_48_25_3	5943	6261.1	6529	9.14	9.798	10.01
gr_48_25_4	5845	6256.5	6657	8.86	9.627	10.02
gr_48_25_5	6624	6825.1	7273	9.00	9.518	10.00
gr_48_25_6	6041	6427.6	6814	8.61	9.646	10.01
gr_48_25_7	6395	6661.0	7147	9.31	9.807	10.01
gr_48_25_8	6008	6276.5	6618	8.34	9.358	10.00
gr_48_25_9	6327	6605.6	6960	9.04	9.624	10.01
gr_48_25_10	6234	6693.0	7167	8.38	9.477	10.02
gr_48_50_1	6707	7030.7	7401	8.56	9.396	10.00
gr_48_50_2	7243	7525.9	7673	7.63	9.237	10.01
gr_48_50_3	6313	6799.9	7261	8.87	9.440	10.02
gr_48_50_4	7052	7451.5	7696	8.60	9.374	10.01

Continua na próxima página

Instância	Solução			Tempo		
	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
gr_48_50_5	7179	7487.1	7743	9.12	9.691	10.01
gr_48_50_6	8726	10149.8	12016	9.18	9.802	10.01
gr_48_50_7	6308	6633.3	7045	8.70	9.861	10.01
gr_48_50_8	6992	7319.3	7672	10.00	10.009	10.05
gr_48_50_9	7638	8137.6	8678	9.06	9.657	10.07
gr_48_50_10	6761	7108.1	7569	9.02	9.452	10.00
ulysses_16_10_1	6859	6859.0	6859	4.25	5.272	6.48
ulysses_16_10_2	6859	6859.0	6859	4.54	5.205	7.35
ulysses_16_10_3	6859	6859.0	6859	4.55	5.266	7.82
ulysses_16_10_4	6859	6859.0	6859	3.90	5.080	8.32
ulysses_16_10_5	6859	6859.0	6859	4.32	5.100	6.63
ulysses_16_10_6	6951	6951.0	6951	4.72	5.188	6.21
ulysses_16_10_7	6859	6859.0	6859	4.66	5.294	6.69
ulysses_16_10_8	6859	6862.6	6895	4.86	5.462	6.36
ulysses_16_10_9	6859	6859.0	6859	4.41	5.212	6.42
ulysses_16_10_10	6859	6859.0	6859	4.79	5.881	8.15
ulysses_16_25_1	6890	6890.0	6890	4.91	5.608	7.61
ulysses_16_25_2	6859	6859.0	6859	4.76	5.337	7.01
ulysses_16_25_3	6859	6859.0	6859	4.86	5.908	8.00
ulysses_16_25_4	7401	7401.0	7401	5.10	6.243	7.93
ulysses_16_25_5	7671	7672.5	7686	4.49	5.556	9.16
ulysses_16_25_6	7029	7029.0	7029	4.48	5.299	7.08
ulysses_16_25_7	7446	7446.0	7446	4.85	5.173	5.90
ulysses_16_25_8	6859	6859.0	6859	4.40	4.914	5.35
ulysses_16_25_9	6859	6859.0	6859	4.71	5.582	7.22
ulysses_16_25_10	7781	7832.4	7859	4.17	5.483	7.34
ulysses_16_50_1	7264	7264.0	7264	4.81	5.674	8.62
ulysses_16_50_2	7715	7718.0	7725	4.64	5.321	6.30
ulysses_16_50_3	9252	9252.0	9252	4.60	5.420	6.57
ulysses_16_50_4	7313	7313.0	7313	4.65	5.621	7.36
ulysses_16_50_5	6909	6909.0	6909	4.52	5.791	7.01
ulysses_16_50_6	7301	7301.0	7301	4.80	6.037	9.20
ulysses_16_50_7	8118	8118.0	8118	5.14	6.335	8.86
ulysses_16_50_8	7065	7065.0	7065	5.02	5.708	7.60
ulysses_16_50_9	6900	6900.0	6900	5.26	5.809	6.72
ulysses_16_50_10	7706	7706.0	7706	4.14	4.965	5.74

Continua na próxima página

Instância	Solução			Tempo		
	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
ulysses_22_10_1	7013	7027.8	7087	4.82	5.622	8.08
ulysses_22_10_2	7013	7013.0	7013	4.75	5.942	8.84
ulysses_22_10_3	7013	7013.6	7019	4.85	5.944	8.31
ulysses_22_10_4	7013	7013.0	7013	5.02	5.820	7.97
ulysses_22_10_5	7013	7016.4	7047	4.99	5.958	8.65
ulysses_22_10_6	7250	7335.3	7472	4.89	5.931	8.47
ulysses_22_10_7	7246	7274.3	7298	4.94	5.693	6.70
ulysses_22_10_8	7181	7187.9	7250	5.29	6.139	8.23
ulysses_22_10_9	7047	7047.0	7047	4.92	5.522	6.78
ulysses_22_10_10	7087	7087.0	7087	4.75	5.492	6.53
ulysses_22_25_1	7083	7114.6	7195	4.51	5.489	6.42
ulysses_22_25_2	7415	7426.2	7443	4.53	5.820	9.33
ulysses_22_25_3	8177	8184.7	8196	4.68	5.126	5.84
ulysses_22_25_4	7385	7389.6	7431	4.61	5.311	6.31
ulysses_22_25_5	7449	7449.0	7449	4.40	5.358	7.05
ulysses_22_25_6	7589	7598.5	7684	4.54	5.370	6.87
ulysses_22_25_7	7729	7941.5	8188	4.58	5.570	8.05
ulysses_22_25_8	7123	7166.4	7319	4.81	5.586	7.18
ulysses_22_25_9	7176	7176.0	7176	4.83	5.255	6.15
ulysses_22_25_10	7961	7986.7	8068	5.03	5.953	7.26
ulysses_22_50_1	8290	8389.6	8535	5.01	5.751	7.13
ulysses_22_50_2	7538	7548.2	7589	4.23	4.920	5.48
ulysses_22_50_3	8833	8860.9	8893	4.64	5.687	8.13
ulysses_22_50_4	9356	9356.0	9356	4.84	5.483	7.72
ulysses_22_50_5	8284	8335.6	8370	4.69	5.589	7.90
ulysses_22_50_6	7570	7571.0	7580	4.24	5.244	7.35
ulysses_22_50_7	7897	7902.7	7954	4.37	5.085	6.12
ulysses_22_50_8	9558	9558.0	9558	4.55	6.419	10.00
ulysses_22_50_9	9021	9166.2	9289	5.18	6.369	8.02
ulysses_22_50_10	7941	7958.6	7995	5.37	6.022	7.92

ANEXO B – *Estatísticas descritivas referente a segunda simulação*

Instância	Solução			Tempo		
	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
bayg_29_10_1	1610	1651.5	1699	4.79	5.556	6.95
bayg_29_10_2	1654	1679.4	1733	4.82	5.650	8.42
bayg_29_10_3	1760	1800.5	1860	4.43	5.575	6.38
bayg_29_10_4	1622	1644.3	1680	4.69	5.762	7.16
bayg_29_10_5	1645	1651.0	1673	3.69	5.303	7.41
bayg_29_10_6	1622	1644.2	1681	4.09	5.119	6.22
bayg_29_10_7	1866	1907.1	1942	3.99	5.683	8.69
bayg_29_10_8	2114	2140.2	2222	4.26	5.027	6.15
bayg_29_10_9	1628	1648.5	1697	4.28	5.031	5.87
bayg_29_10_10	1655	1693.7	1729	4.46	5.485	6.45
bayg_29_25_1	2027	2081.2	2143	4.49	5.618	6.82
bayg_29_25_2	1655	1668.0	1698	4.72	6.165	8.38
bayg_29_25_3	1827	1849.8	1876	4.94	6.048	8.41
bayg_29_25_4	1810	1855.6	1893	4.98	5.501	6.65
bayg_29_25_5	1709	1727.7	1743	4.35	5.963	7.43
bayg_29_25_6	1841	1867.1	1911	4.99	6.140	8.12
bayg_29_25_7	1813	1871.5	1955	4.41	5.276	6.21
bayg_29_25_8	1718	1736.9	1771	4.70	6.022	9.28
bayg_29_25_9	1683	1714.9	1789	4.88	5.553	6.71
bayg_29_25_10	1862	1889.0	1967	4.73	5.695	7.26
bayg_29_50_1	1955	1985.9	2031	4.94	6.002	7.38
bayg_29_50_2	2255	2271.7	2298	3.96	5.110	6.61
bayg_29_50_3	2093	2125.5	2186	4.30	5.183	8.40
bayg_29_50_4	2023	2056.1	2117	4.14	5.099	6.85
bayg_29_50_5	1785	1837.9	1904	4.53	5.280	5.93
bayg_29_50_6	2340	2382.3	2415	4.62	5.012	5.52
bayg_29_50_7	2405	2443.8	2508	4.36	5.000	6.56
bayg_29_50_8	2233	2286.7	2373	4.34	5.193	7.44
bayg_29_50_9	2007	2019.9	2053	4.19	5.578	8.61
bayg_29_50_10	1901	1920.9	1989	4.64	5.554	6.15

Continua na próxima página

Instância	Solução			Tempo		
	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
burma_14_10_1	3416	3416.0	3416	2.92	3.875	5.35
burma_14_10_2	3323	3323.0	3323	2.59	3.482	4.45
burma_14_10_3	3323	3323.0	3323	2.52	3.937	5.18
burma_14_10_4	3751	3751.0	3751	3.17	4.300	5.76
burma_14_10_5	3323	3323.0	3323	3.11	4.069	4.80
burma_14_10_6	3323	3323.0	3323	2.76	4.273	6.51
burma_14_10_7	3323	3323.0	3323	3.25	3.892	5.12
burma_14_10_8	3346	3346.0	3346	2.49	3.404	3.94
burma_14_10_9	3416	3416.0	3416	2.70	3.690	4.63
burma_14_10_10	3323	3323.0	3323	2.93	3.726	4.26
burma_14_25_1	4036	4036.0	4036	3.22	4.023	5.37
burma_14_25_2	3465	3465.0	3465	3.15	3.906	5.34
burma_14_25_3	3336	3336.0	3336	2.79	3.706	4.38
burma_14_25_4	3696	3696.0	3696	2.64	3.910	5.80
burma_14_25_5	3346	3346.0	3346	2.81	3.882	5.38
burma_14_25_6	3610	3610.0	3610	3.13	3.926	4.69
burma_14_25_7	3346	3346.0	3346	3.49	4.407	5.72
burma_14_25_8	3371	3371.0	3371	3.34	4.067	5.81
burma_14_25_9	3834	3834.0	3834	3.06	3.830	4.49
burma_14_25_10	3928	3928.0	3928	3.55	4.181	4.95
burma_14_50_1	4412	4412.0	4412	3.24	4.211	5.54
burma_14_50_2	3748	3748.0	3748	2.84	3.893	4.95
burma_14_50_3	3870	3870.0	3870	3.79	4.421	5.23
burma_14_50_4	3323	3323.0	3323	3.57	4.546	5.21
burma_14_50_5	3524	3524.0	3524	3.07	4.285	5.23
burma_14_50_6	3846	3846.0	3846	3.61	4.182	4.75
burma_14_50_7	3408	3408.0	3408	3.02	3.737	4.85
burma_14_50_8	3506	3506.0	3506	2.87	5.159	10.07
burma_14_50_9	4519	4519.0	4519	3.68	4.943	6.74
burma_14_50_10	4467	4467.0	4467	2.96	4.129	4.75
fri_26_10_1	937	950.0	959	3.48	5.011	7.21
fri_26_10_2	937	940.2	953	4.33	5.359	7.00
fri_26_10_3	1009	1027.7	1054	4.45	4.963	6.16
fri_26_10_4	955	956.7	968	4.02	5.457	8.58
fri_26_10_5	1002	1024.5	1068	4.08	4.829	7.20
fri_26_10_6	937	941.0	959	4.76	5.450	7.05

Continua na próxima página

Instância	Solução			Tempo		
	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
fri_26_10_7	1039	1051.2	1073	3.66	4.866	6.31
fri_26_10_8	953	955.1	974	3.81	4.897	6.93
fri_26_10_9	937	937.0	937	3.73	5.294	6.92
fri_26_10_10	937	960.3	987	4.11	5.222	6.21
fri_26_25_1	1055	1071.1	1076	3.90	4.705	5.51
fri_26_25_2	1201	1212.6	1238	3.89	4.416	5.15
fri_26_25_3	1139	1159.1	1190	4.44	4.995	6.08
fri_26_25_4	1233	1261.2	1285	4.00	4.756	6.20
fri_26_25_5	1034	1048.5	1071	4.10	4.944	6.11
fri_26_25_6	1172	1200.0	1220	4.48	5.816	9.77
fri_26_25_7	1101	1105.5	1115	4.03	5.018	5.99
fri_26_25_8	955	959.2	980	3.98	4.953	7.14
fri_26_25_9	1081	1084.5	1094	4.30	4.898	5.87
fri_26_25_10	1093	1094.4	1103	4.68	5.631	7.54
fri_26_50_1	1273	1290.1	1317	4.31	4.988	5.50
fri_26_50_2	1045	1068.0	1117	4.14	5.566	9.06
fri_26_50_3	1035	1080.8	1137	4.38	5.546	7.69
fri_26_50_4	1185	1191.0	1205	4.33	4.908	5.80
fri_26_50_5	1185	1200.8	1217	4.26	5.243	6.25
fri_26_50_6	1158	1159.8	1164	3.57	4.867	6.50
fri_26_50_7	1150	1162.6	1198	4.00	4.696	5.46
fri_26_50_8	1441	1453.8	1554	4.32	6.080	9.74
fri_26_50_9	1267	1268.6	1275	4.25	5.000	6.01
fri_26_50_10	1060	1076.6	1087	4.53	5.679	7.81
gr_17_10_1	2153	2153.0	2153	2.76	4.063	5.53
gr_17_10_2	2165	2165.0	2165	3.37	4.035	4.92
gr_17_10_3	2085	2085.3	2088	3.26	4.276	5.36
gr_17_10_4	2590	2590.0	2590	3.63	4.742	8.39
gr_17_10_5	2085	2085.3	2088	3.51	4.642	6.09
gr_17_10_6	2085	2085.0	2085	3.49	4.275	4.90
gr_17_10_7	2085	2085.0	2085	3.23	4.227	5.35
gr_17_10_8	2085	2085.0	2085	3.36	4.537	6.50
gr_17_10_9	2085	2085.3	2088	3.51	4.479	5.57
gr_17_10_10	2085	2085.0	2085	2.63	3.929	5.24
gr_17_25_1	2265	2265.0	2265	3.27	4.310	6.47
gr_17_25_2	2505	2505.0	2505	2.87	4.213	6.62

Continua na próxima página

Instância	Solução			Tempo		
	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
gr_17_25_3	2270	2270.0	2270	3.54	4.144	4.79
gr_17_25_4	2103	2103.0	2103	3.49	4.478	6.30
gr_17_25_5	2088	2088.0	2088	3.25	4.358	5.73
gr_17_25_6	2160	2160.0	2160	3.19	4.266	7.18
gr_17_25_7	2085	2085.0	2085	3.51	4.640	5.62
gr_17_25_8	2088	2088.0	2088	3.68	4.648	6.77
gr_17_25_9	2138	2138.0	2138	3.31	4.192	5.26
gr_17_25_10	2675	2675.0	2675	2.94	4.203	6.54
gr_17_50_1	2743	2743.0	2743	3.61	4.210	4.93
gr_17_50_2	2216	2216.0	2216	3.82	4.485	5.59
gr_17_50_3	3000	3000.0	3000	2.99	4.161	5.50
gr_17_50_4	2946	2946.0	2946	3.18	3.951	4.42
gr_17_50_5	2205	2205.0	2205	3.72	4.809	5.98
gr_17_50_6	2579	2579.0	2579	3.66	4.832	6.71
gr_17_50_7	2812	2812.0	2812	3.10	4.944	6.66
gr_17_50_8	3014	3014.0	3014	4.14	5.147	6.55
gr_17_50_9	3454	3454.0	3454	3.71	4.685	5.70
gr_17_50_10	2134	2134.0	2134	3.19	4.280	5.09
gr_21_10_1	2707	2707.0	2707	3.56	4.794	7.11
gr_21_10_2	3002	3002.0	3002	3.96	4.805	6.07
gr_21_10_3	2851	2851.0	2851	3.55	4.620	5.48
gr_21_10_4	2760	2760.0	2760	3.78	4.550	5.85
gr_21_10_5	2707	2707.0	2707	3.72	4.805	5.82
gr_21_10_6	2760	2767.0	2795	4.01	5.190	5.92
gr_21_10_7	3093	3129.4	3216	3.08	5.280	7.62
gr_21_10_8	2962	2991.2	3062	4.01	5.769	9.51
gr_21_10_9	2787	2787.0	2787	3.57	4.899	6.52
gr_21_10_10	2707	2707.0	2707	4.04	4.778	5.90
gr_21_25_1	2788	2788.0	2788	3.71	4.664	5.75
gr_21_25_2	2946	2972.5	3011	4.36	5.141	6.63
gr_21_25_3	3109	3114.9	3168	3.95	6.322	10.00
gr_21_25_4	2707	2707.0	2707	4.15	6.163	8.40
gr_21_25_5	3159	3169.4	3172	4.76	5.606	6.99
gr_21_25_6	3159	3159.0	3159	4.14	5.938	7.72
gr_21_25_7	2921	2929.4	3005	4.55	5.577	7.66
gr_21_25_8	3421	3431.3	3454	4.17	5.276	7.81

Continua na próxima página

Instância	Solução			Tempo		
	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
gr_21_25_9	2709	2709.0	2709	3.92	5.526	7.19
gr_21_25_10	2707	2707.0	2707	4.83	5.661	6.83
gr_21_50_1	3115	3115.0	3115	4.50	5.370	7.46
gr_21_50_2	4041	4067.5	4137	4.24	5.194	6.88
gr_21_50_3	3892	3920.8	3940	4.09	5.498	7.72
gr_21_50_4	3570	3574.4	3592	4.12	5.132	7.05
gr_21_50_5	4132	4132.0	4132	4.20	5.089	5.91
gr_21_50_6	3484	3518.5	3599	4.20	5.194	5.77
gr_21_50_7	4249	4249.0	4249	4.03	5.308	6.10
gr_21_50_8	3296	3296.0	3296	4.06	4.969	6.14
gr_21_50_9	4186	4201.6	4258	4.15	5.121	8.08
gr_21_50_10	3483	3558.3	3621	4.21	5.088	8.24
gr_48_10_1	5386	5647.5	5991	7.02	8.069	9.64
gr_48_10_2	5819	6147.0	6444	6.38	8.803	10.01
gr_48_10_3	5706	6061.7	6380	6.07	8.254	10.02
gr_48_10_4	5484	5857.3	6472	7.06	7.594	8.40
gr_48_10_5	6188	6453.8	6723	6.78	8.435	9.69
gr_48_10_6	5848	6159.7	6403	6.81	8.626	10.01
gr_48_10_7	5394	5771.7	6376	7.52	8.483	10.01
gr_48_10_8	5188	5417.8	5788	6.64	7.649	8.80
gr_48_10_9	5351	5911.3	6577	7.84	8.797	10.01
gr_48_10_10	5519	5681.7	6083	7.36	8.047	8.75
gr_48_25_1	5863	6117.7	6405	9.48	9.919	10.01
gr_48_25_2	6174	6520.7	6957	8.68	9.560	10.13
gr_48_25_3	6161	6404.8	6629	7.03	8.914	10.01
gr_48_25_4	5783	6276.8	6758	7.43	8.719	10.01
gr_48_25_5	6458	6926.5	7231	7.60	8.649	9.84
gr_48_25_6	6063	6502.8	6994	7.68	8.959	10.02
gr_48_25_7	6417	6784.6	7496	7.56	8.838	10.01
gr_48_25_8	5913	6389.1	6702	7.70	8.545	9.90
gr_48_25_9	6439	6573.3	6868	7.23	8.191	10.00
gr_48_25_10	6639	6901.3	7215	6.42	8.168	9.94
gr_48_50_1	6635	7109.8	7520	6.85	8.073	10.00
gr_48_50_2	7266	7672.0	7954	7.29	8.607	9.42
gr_48_50_3	6375	6729.5	7152	7.73	8.662	10.00
gr_48_50_4	6466	7264.7	7824	7.45	8.703	10.01

Continua na próxima página

Instância	Solução			Tempo		
	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
gr_48_50_5	7112	7501.1	7963	7.04	8.487	10.00
gr_48_50_6	8990	10828.8	12541	6.77	8.031	10.01
gr_48_50_7	6448	6810.2	7296	6.37	8.365	9.80
gr_48_50_8	7115	7346.6	7688	7.18	8.152	9.98
gr_48_50_9	7741	8051.8	8437	7.02	8.705	9.69
gr_48_50_10	6683	7357.5	7943	7.38	8.897	10.00
ulysses_16_10_1	6859	6860.1	6870	3.45	4.275	4.93
ulysses_16_10_2	6859	6859.0	6859	3.04	6.059	9.52
ulysses_16_10_3	6859	6859.0	6859	4.16	4.849	6.67
ulysses_16_10_4	6859	6859.0	6859	4.23	5.424	7.93
ulysses_16_10_5	6859	6859.0	6859	4.43	5.352	6.73
ulysses_16_10_6	6951	6951.0	6951	3.70	4.682	5.67
ulysses_16_10_7	6859	6860.6	6875	3.96	5.140	6.40
ulysses_16_10_8	6859	6863.4	6903	3.99	5.044	7.50
ulysses_16_10_9	6859	6861.7	6875	3.97	4.635	5.51
ulysses_16_10_10	6859	6859.0	6859	3.76	4.985	6.55
ulysses_16_25_1	6890	6891.6	6898	3.17	4.198	5.11
ulysses_16_25_2	6859	6859.0	6859	4.11	5.191	6.28
ulysses_16_25_3	6859	6859.0	6859	4.09	5.863	7.87
ulysses_16_25_4	7401	7401.0	7401	3.46	4.586	7.18
ulysses_16_25_5	7671	7671.0	7671	3.72	4.441	5.19
ulysses_16_25_6	7029	7029.0	7029	3.50	4.271	6.22
ulysses_16_25_7	7446	7446.0	7446	3.49	4.174	4.94
ulysses_16_25_8	6859	6859.0	6859	3.53	4.625	6.41
ulysses_16_25_9	6859	6859.0	6859	3.45	4.645	5.99
ulysses_16_25_10	7781	7823.9	7859	3.18	3.795	4.71
ulysses_16_50_1	7264	7264.0	7264	3.54	4.490	6.45
ulysses_16_50_2	7715	7717.0	7725	3.38	4.062	5.68
ulysses_16_50_3	9252	9252.0	9252	3.72	4.599	6.02
ulysses_16_50_4	7313	7313.0	7313	3.09	4.274	5.51
ulysses_16_50_5	6909	6909.0	6909	4.09	5.119	7.25
ulysses_16_50_6	7301	7301.0	7301	4.05	5.179	7.61
ulysses_16_50_7	8118	8127.5	8213	4.36	5.409	7.72
ulysses_16_50_8	7065	7065.0	7065	3.71	4.439	5.90
ulysses_16_50_9	6900	6900.0	6900	2.91	4.059	4.63
ulysses_16_50_10	7706	7706.0	7706	4.12	4.643	6.09

Continua na próxima página

Instância	Solução			Tempo		
	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo
ulysses_22_10_1	7013	7020.4	7087	4.68	5.669	7.08
ulysses_22_10_2	7013	7013.0	7013	4.26	5.234	6.92
ulysses_22_10_3	7013	7044.5	7100	4.44	5.258	6.57
ulysses_22_10_4	7013	7020.9	7092	4.08	4.963	5.81
ulysses_22_10_5	7013	7020.9	7092	4.60	5.387	7.04
ulysses_22_10_6	7250	7344.2	7475	4.65	5.457	6.67
ulysses_22_10_7	7246	7277.8	7323	4.95	5.815	7.23
ulysses_22_10_8	7181	7192.9	7300	3.91	5.084	6.15
ulysses_22_10_9	7047	7049.3	7070	5.27	6.292	7.85
ulysses_22_10_10	7087	7088.0	7097	4.65	5.777	6.82
ulysses_22_25_1	7083	7202.0	7303	5.54	6.308	7.19
ulysses_22_25_2	7415	7442.4	7524	4.82	5.777	7.08
ulysses_22_25_3	8177	8189.3	8199	4.83	5.484	7.37
ulysses_22_25_4	7385	7389.0	7411	4.85	5.832	7.47
ulysses_22_25_5	7449	7451.2	7471	5.10	6.031	7.52
ulysses_22_25_6	7589	7601.3	7656	6.32	6.808	7.46
ulysses_22_25_7	7729	7914.8	8228	5.30	6.608	8.97
ulysses_22_25_8	7123	7123.0	7123	5.41	6.671	8.44
ulysses_22_25_9	7176	7176.0	7176	4.61	5.956	7.82
ulysses_22_25_10	7961	8009.1	8121	5.53	6.683	9.29
ulysses_22_50_1	8290	8432.7	8535	4.70	5.968	7.34
ulysses_22_50_2	7538	7563.5	7589	4.71	5.655	6.81
ulysses_22_50_3	8833	8853.3	8895	4.55	5.773	7.86
ulysses_22_50_4	9356	9356.0	9356	5.17	6.023	7.77
ulysses_22_50_5	8284	8327.0	8370	4.40	5.471	6.66
ulysses_22_50_6	7570	7590.5	7755	4.34	5.089	5.62
ulysses_22_50_7	7897	7902.7	7954	4.80	5.648	7.91
ulysses_22_50_8	9558	9567.5	9611	5.05	5.667	6.22
ulysses_22_50_9	9021	9093.6	9289	4.21	5.983	7.43
ulysses_22_50_10	7941	7988.6	8206	4.16	5.675	6.82

C Resultados do algoritmo proposto para grandes instâncias, com 100, 200 e 442 nós

Instância	BRKGA	
	Sol.	Tempo
kroa_100_50_1	40315	6.74
kroa_100_50_2	43641	6.91
kroa_100_50_3	39988	7.19
kroa_100_50_4	38105	6.32
kroa_100_50_5	38779	6.47
kroa_100_50_6	37502	6.21
kroa_100_50_7	43649	6.74
kroa_100_50_8	38513	6.59
kroa_100_50_9	40307	6.35
kroa_100_50_10	40535	5.84
kroa_100_75_1	41227	7.71
kroa_100_75_2	45200	7.11
kroa_100_75_3	40565	6.03
kroa_100_75_4	39330	6.37
kroa_100_75_5	43985	5.69
kroa_100_75_6	46805	5.46
kroa_100_75_7	47644	6.14
kroa_100_75_8	42470	5.73
kroa_100_75_9	44919	5.88
kroa_100_75_10	44682	6.08
kroa_200_50_1	102480	8.27
kroa_200_50_2	104873	9.00
kroa_200_50_3	95554	9.95
kroa_200_50_4	97695	10.26
kroa_200_50_5	92326	9.14
kroa_200_50_6	97893	9.65
kroa_200_50_7	98929	9.15
kroa_200_50_8	92862	10.71

Continua na próxima página

Instância	BRKGA	
	Sol.	Tempo
kroa_200_50_9	99603	8.49
kroa_200_50_10	99786	10.32
kroa_200_75_1	105944	8.83
kroa_200_75_2	105085	11.98
kroa_200_75_3	99697	8.45
kroa_200_75_4	105645	10.95
kroa_200_75_5	101632	9.16
kroa_200_75_6	101941	9.88
kroa_200_75_7	112635	8.74
kroa_200_75_8	102784	9.45
kroa_200_75_9	103213	9.64
kroa_200_75_10	105669	8.85
pcb_442_50_1	302481	15.09
pcb_442_50_2	328613	19.20
pcb_442_50_3	320871	18.65
pcb_442_50_4	308339	16.54
pcb_442_50_5	334266	16.39
pcb_442_50_6	317927	16.26
pcb_442_50_7	304814	16.03
pcb_442_50_8	321310	14.98
pcb_442_50_9	314588	16.34
pcb_442_50_10	312617	16.33
pcb_442_75_1	338051	16.73
pcb_442_75_2	333804	23.30
pcb_442_75_3	335914	19.04
pcb_442_75_4	340711	20.37
pcb_442_75_5	320418	17.90
pcb_442_75_6	340921	19.13
pcb_442_75_7	330435	20.49
pcb_442_75_8	355837	21.09
pcb_442_75_9	309084	17.03
pcb_442_75_10	344422	18.43