

Algoritmo Genético de Chaves Aleatórias Viciadas Aplicado ao Escalonamento de Tarefas em Máquinas Flexíveis Paralelas Idênticas com Restrições de Ferramentas

Leonardo Cabral da Rocha Soares
Marco Antonio M. Carvalho

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

08 de agosto de 2018



Conteúdo

1 Introdução

2 Desenvolvimento

3 Experimentos

4 Conclusões e trabalhos futuros

Definição

Consistem em uma rede de máquinas flexíveis interligadas por um sistema automático de manuseio de materiais, seja matéria-prima ou produtos semiacabados.



Problema de Minimização de Troca de Ferramentas (MTSP)

Definição

É o resultado da combinação dos problemas:

- ▶ Sequenciamento do processamento das tarefas na máquina;
- ▶ Determinação do plano de troca de ferramentas.

Classificação

- ▶ O problema de processamento de tarefas em máquina é \mathcal{NP} -Difícil Crama et al. (1994);
- ▶ O plano de trocas de ferramentas pode ser determinado em tempo determinístico polinomial utilizando-se a política de manter no magazine as ferramentas que serão utilizadas mais cedo, denominada *Keep Tool Needed Soonest* (KTNS) e introduzida por Tang and Denardo (1988).

Problema de Minimização de Troca de Ferramentas (MTSP)

Definição

É o resultado da combinação dos problemas:

- ▶ Sequenciamento do processamento das tarefas na máquina;
- ▶ Determinação do plano de troca de ferramentas.

Classificação

- ▶ O problema de processamento de tarefas em máquina é \mathcal{NP} -Difícil Crama et al. (1994);
- ▶ O plano de trocas de ferramentas pode ser determinado em tempo determinístico polinomial utilizando-se a política de manter no magazine as ferramentas que serão utilizadas mais cedo, denominada *Keep Tool Needed Soonest* (KTNS) e introduzida por Tang and Denardo (1988).

Problema de Escalonamento em Máquinas Paralelas (SPM)

O escalonamento de tarefas em um ambiente composto por máquinas paralelas constitui o denominado Problema de Escalonamento em Máquinas Paralelas (McNaughton, 1959).

O SPM pode ainda conter uma restrição adicional referente ao tempo de preparação dependente da sequência de tarefas.

Problema de Escalonamento de Tarefas em Máquinas Paralelas Idênticas com Restrições de Ferramentas

Definição

Da junção do SPM com o MTSP, em que o tempo de preparação dependente da sequência está relacionado com trocas de ferramentas, surge o *Problema de Escalonamento de Tarefas em Máquinas Paralelas Idênticas com Restrições de Ferramentas (Identical Parallel Machines With Tooling Constraints, IPMTC)* (McNaughton, 1959).

Objetivo

- Minimizar o *makespan* (Δ).

Classificação

- \mathcal{NP} -Difícil (Crama et al., 1994)

Problema de Escalonamento de Tarefas em Máquinas Paralelas Idênticas com Restrições de Ferramentas

Solução do problema

- ① Alocação das tarefas às máquinas;
- ② Sequenciamento das tarefas em cada máquina;
- ③ Determinação do plano de troca de ferramentas para a sequência dada em cada máquina.

Problema de Escalonamento de Tarefas em Máquinas Paralelas Idênticas com Restrições de Ferramentas

Instância

Tarefas	Tempo de Processamento	Ferramentas
1	10	1, 2, 3
2	10	1, 2, 4
3	12	1, 2
4	12	5, 6 ,7
5	5	6, 8, 9

Número de máquinas = 2

Capacidade do *magazine* = 5

Tempo para troca de ferramenta = 1

Problema de Escalonamento de Tarefas em Máquinas Paralelas Idênticas com Restrições de Ferramentas

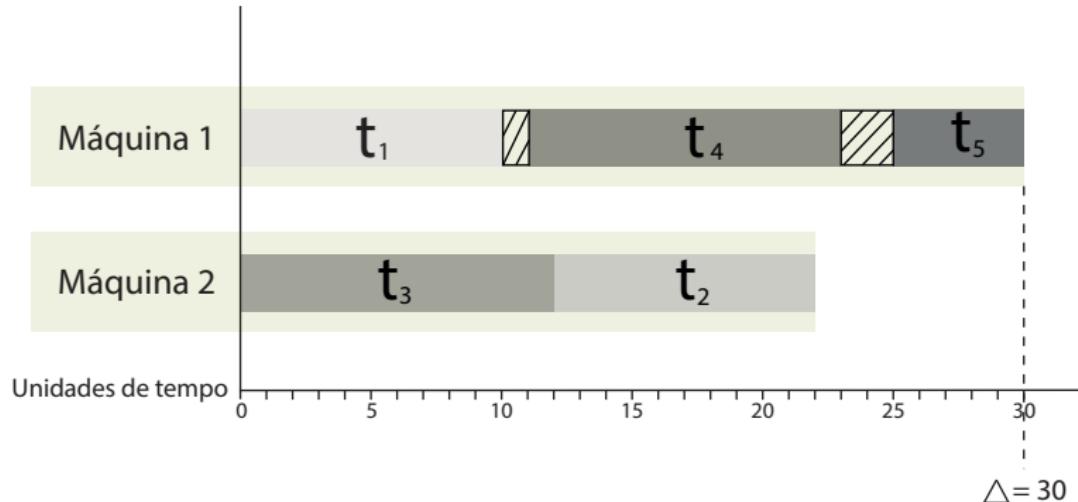


Figura: Exemplo de solução para a instância de exemplo.

Problema de Escalonamento de Tarefas em Máquinas Paralelas Idênticas com Restrições de Ferramentas

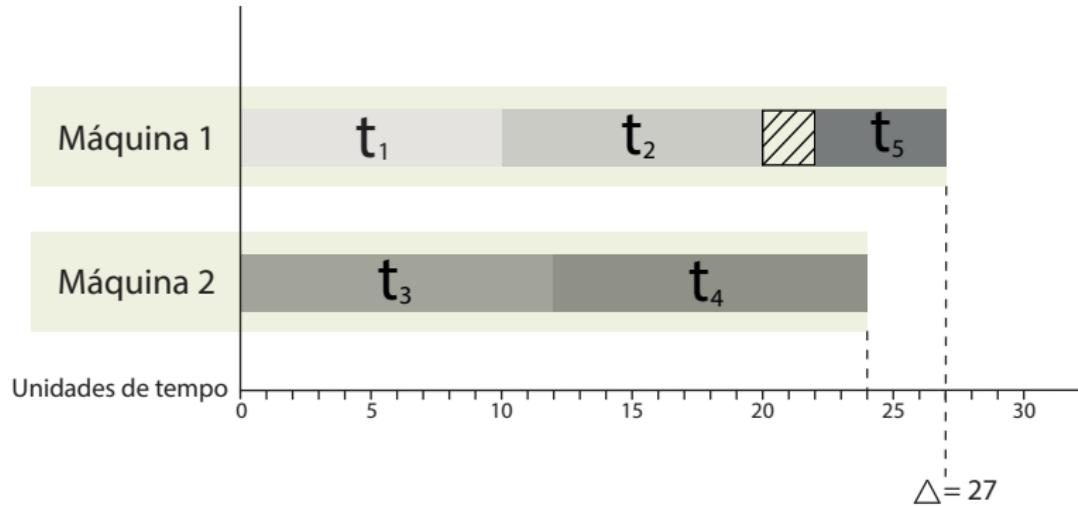


Figura: Exemplo de uma solução ótima para a instância de exemplo.

Problema de Escalonamento de Tarefas em Máquinas Paralelas Idênticas com Restrições de Ferramentas

Plano de troca de ferramentas para Máquina 1

Ferramentas	1	2	5
1	1	1	<u>0</u>
2	1	1	<u>0</u>
3	1	1	1
4	1	1	1
5	0	0	0
6	1	1	1
7	0	0	0
8	0	0	<u>1</u>
9	0	0	<u>1</u>

Abordagem

Para abordagem do IPMTC, propõe-se a implementação da metaheurística Algoritmo Genético de Chaves Aleatórias Viciadas (BRKGA).

Motivações

- ▶ A flexibilidade que esta metaheurística possui em lidar com diversos problemas complexos de otimização combinatória (Resende, 2011);
- ▶ Os bons resultados obtidos em diversos problemas de otimização (Gonçalves et al., 2005; Gonçalves and Resende, 2011; Valente et al., 2011);
- ▶ Não haver trabalhos anteriores que proponham a utilização desta metaheurística na resolução do IPMTC.

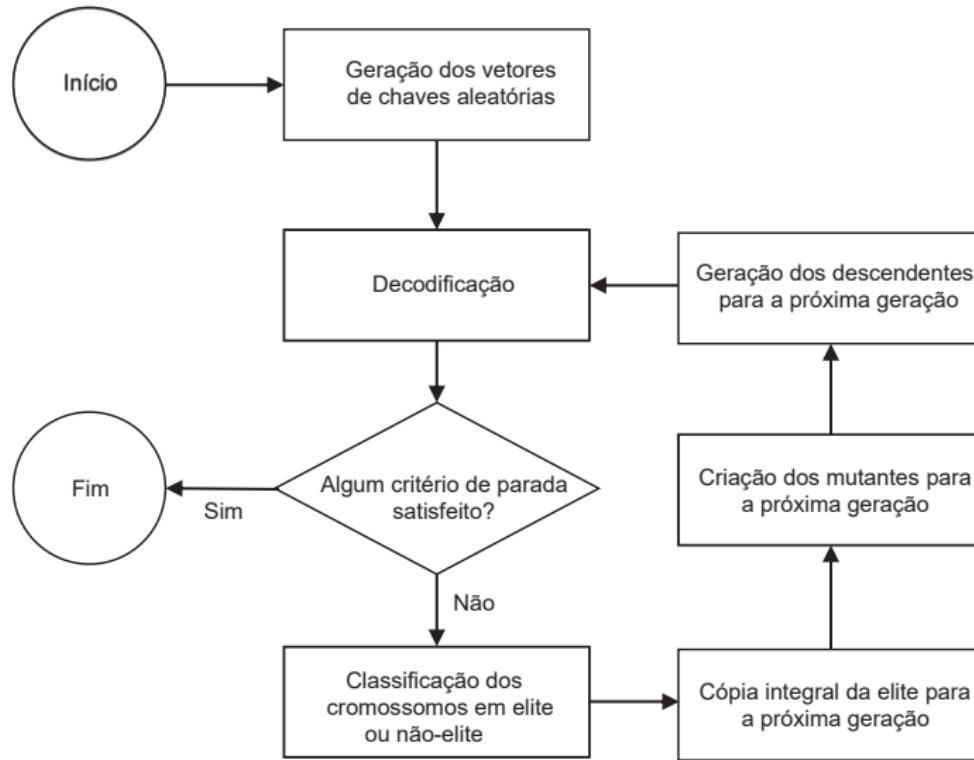
Abordagem

Para abordagem do IPMTC, propõe-se a implementação da metaheurística Algoritmo Genético de Chaves Aleatórias Viciadas (BRKGA).

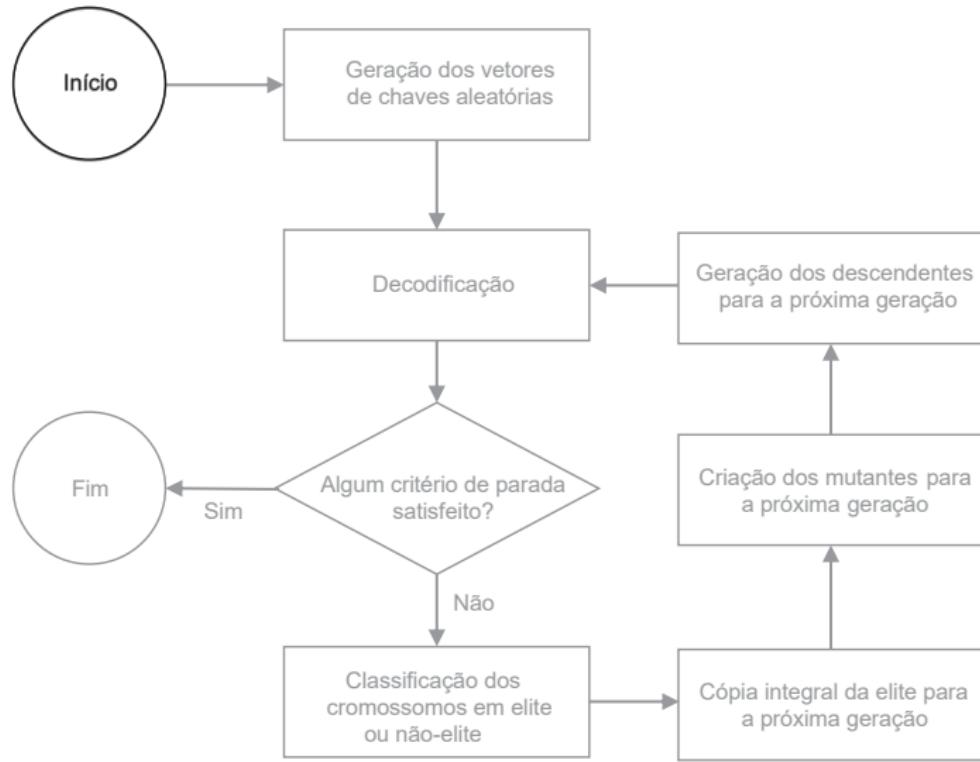
Motivações

- ▶ A flexibilidade que esta metaheurística possui em lidar com diversos problemas complexos de otimização combinatória (Resende, 2011);
- ▶ Os bons resultados obtidos em diversos problemas de otimização (Gonçalves et al., 2005; Gonçalves and Resende, 2011; Valente et al., 2011);
- ▶ Não haver trabalhos anteriores que proponham a utilização desta metaheurística na resolução do IPMTC.

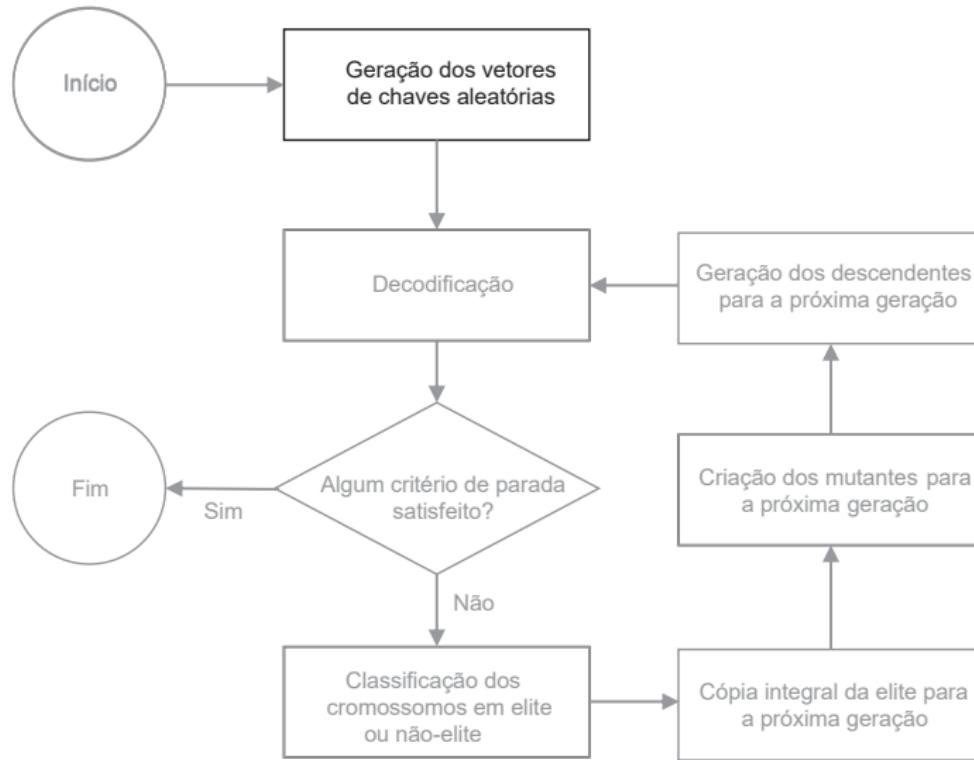
Funcionamento geral do BRKGA



Funcionamento geral do BRKGA



Funcionamento geral do BRKGA



Geração dos vetores de chaves aleatórias

1,4128	1,7865	2,8765	1,2882	2,1245	2,8967
--------	--------	--------	--------	--------	--------

2,5678	1,5432	2,2332	2,6754	1,6557	2,7342
--------	--------	--------	--------	--------	--------

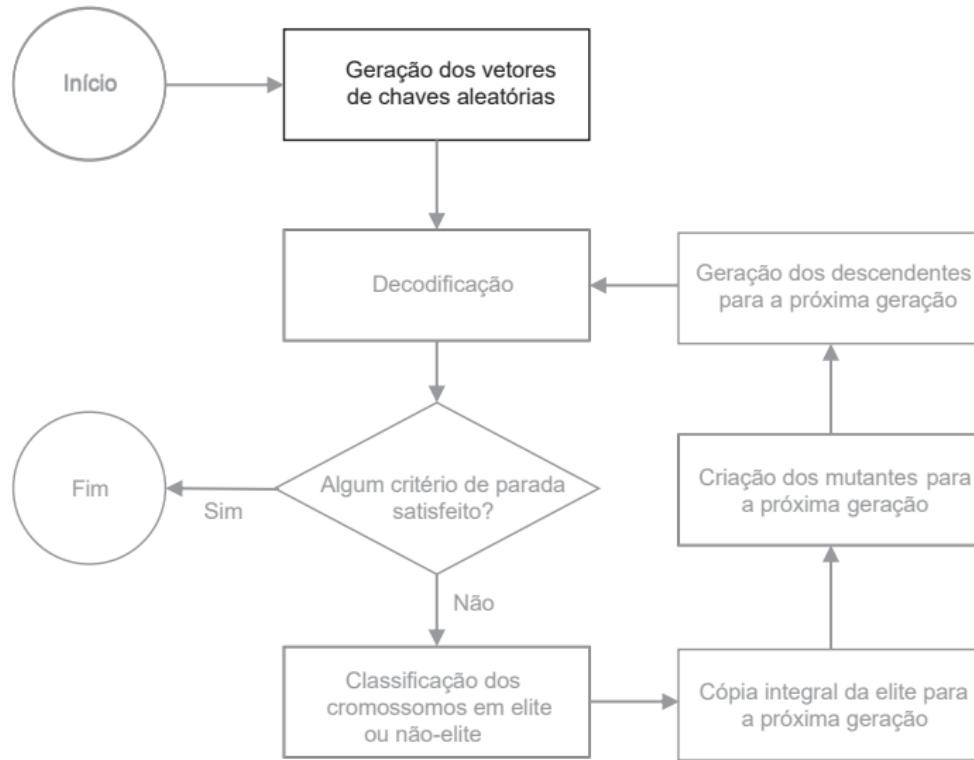
2,7865	2,1093	1,9803	1,0987	1,1234	2,8765
--------	--------	--------	--------	--------	--------

2,6754	1,3221	1,9087	2,6754	2,7865	2,8976
--------	--------	--------	--------	--------	--------

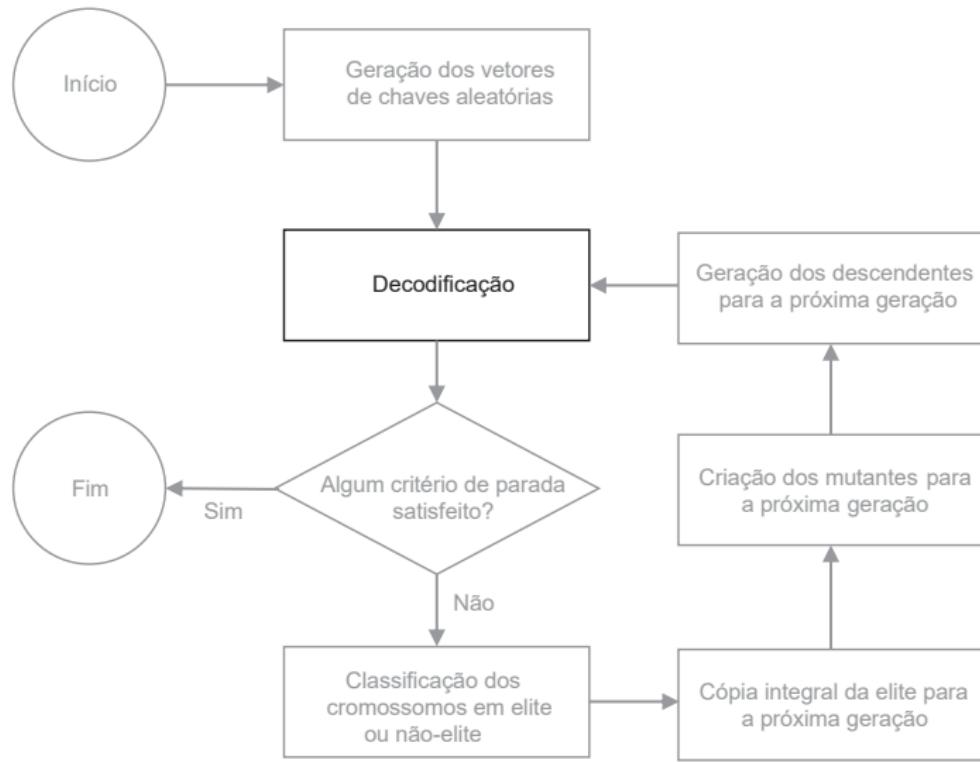
1,6754	1,2345	1,6547	2,7689	2,9874	1,0897
--------	--------	--------	--------	--------	--------

1,5467	2,4678	2,8907	2,5467	1,8734	1,8329
--------	--------	--------	--------	--------	--------

Funcionamento geral do BRKGA



Funcionamento geral do BRKGA



Decodificação

1,3256	2,9863	2,0007	1,1258	2,1456	2,9971
--------	--------	--------	--------	--------	--------

Índice original	3	0	2	4	1	5
Genes	1.1258	1.3256	2.0007	2.4156	2.9863	2.9971

Cálculo do valor da solução (fitness)

$$\Delta = \arg \max \left\{ \sum_{i \in m} t_i + Z_{MTSP}(R^m) \times \bar{t} \right\}, \quad \forall m \in M \quad (1)$$

Decodificação

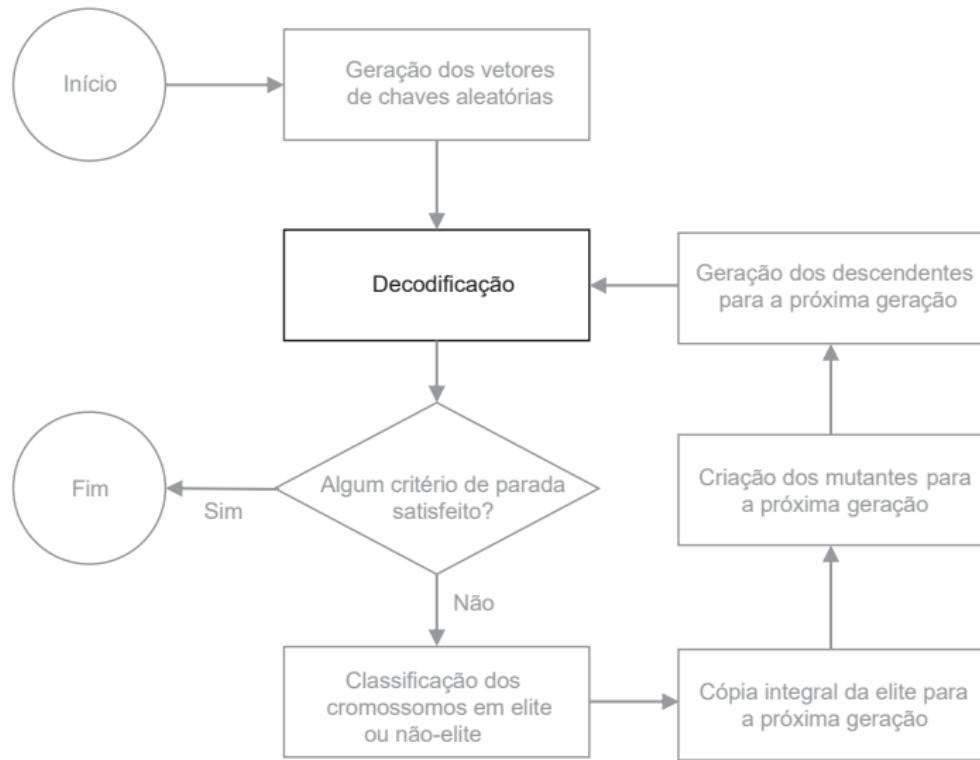
1,3256	2,9863	2,0007	1,1258	2,1456	2,9971
--------	--------	--------	--------	--------	--------

Índice original	3	0	2	4	1	5
Genes	1.1258	1.3256	2.0007	2.4156	2.9863	2.9971

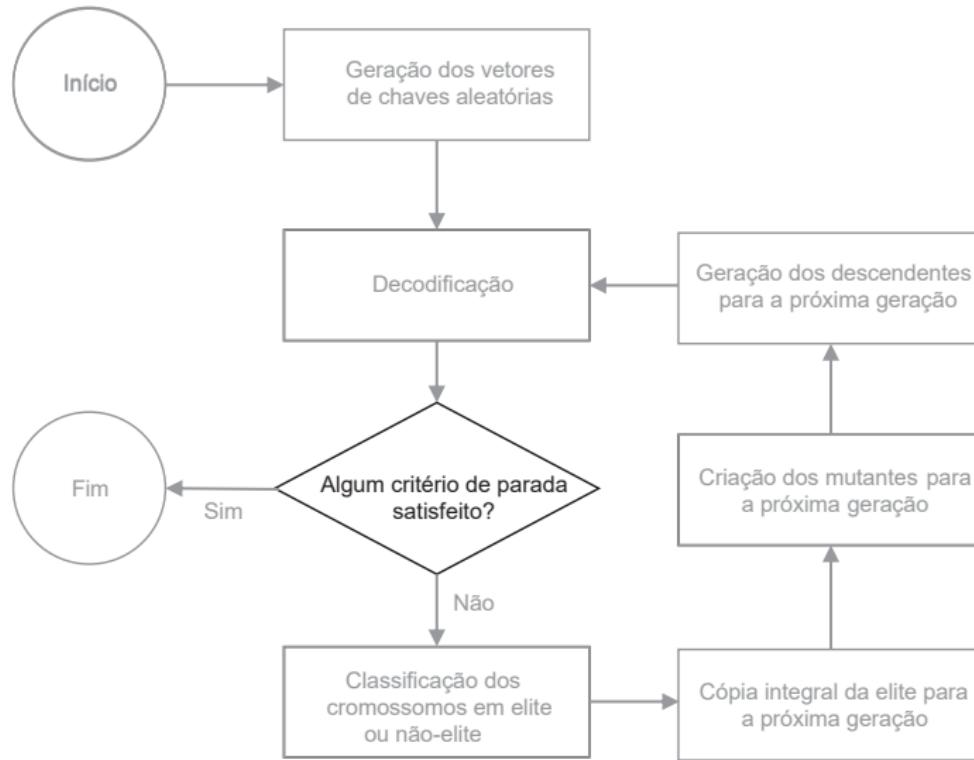
Cálculo do valor da solução (fitness)

$$\Delta = \arg \max \left\{ \sum_{i \in m} t_i + Z_{MTSP}(R^m) \times \bar{t} \right\}, \quad \forall m \in M \quad (1)$$

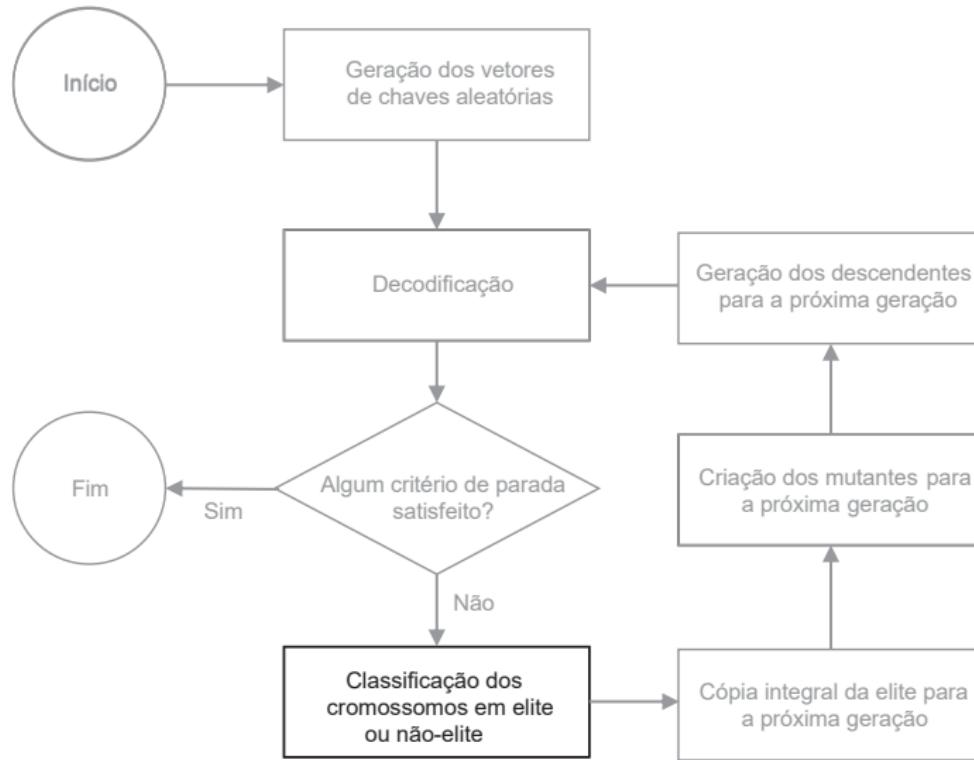
Funcionamento geral do BRKGA



Funcionamento geral do BRKGA



Funcionamento geral do BRKGA



Classificação

ELITE

2,6754

1,3221

1,9087

2,6754

2,7865

1,8976

03

1,5678

2,5432

2,2332

1,6754

1,6557

2,7342

07

NÃO ELITE

1,7865

1,1093

2,9803

2,0987

2,1234

1,8765

21

2,4128

2,7865

1,8765

1,2882

2,1245

1,8967

37

2,6754

1,2345

1,6547

1,7689

2,9874

1,0897

43

1,5467

2,4678

1,8907

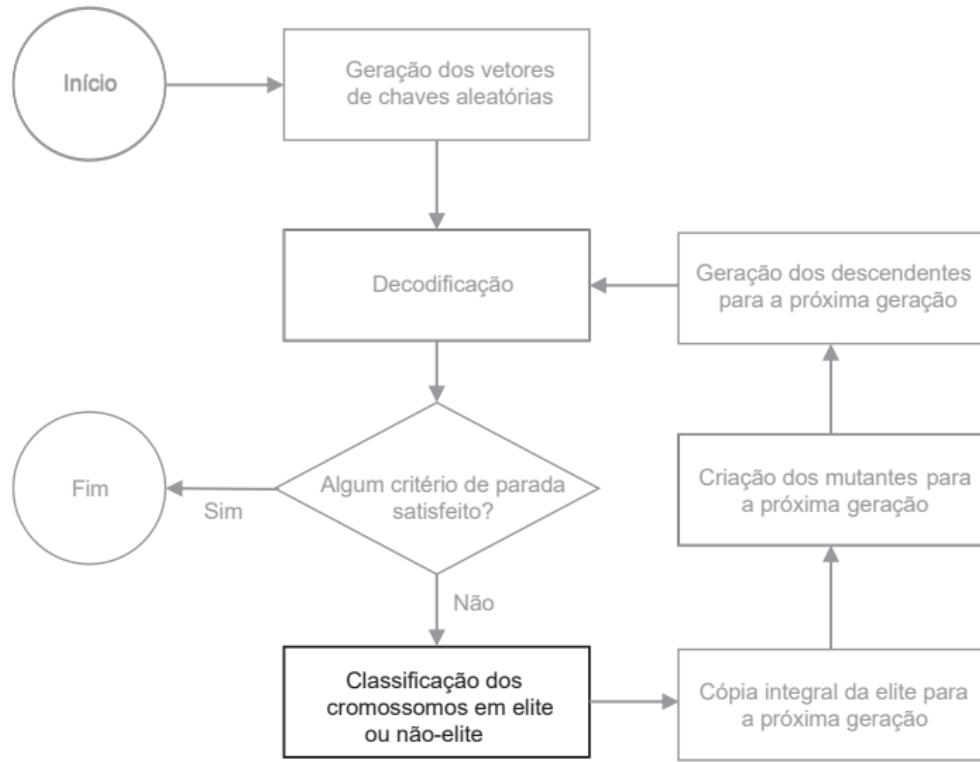
1,5467

2,8734

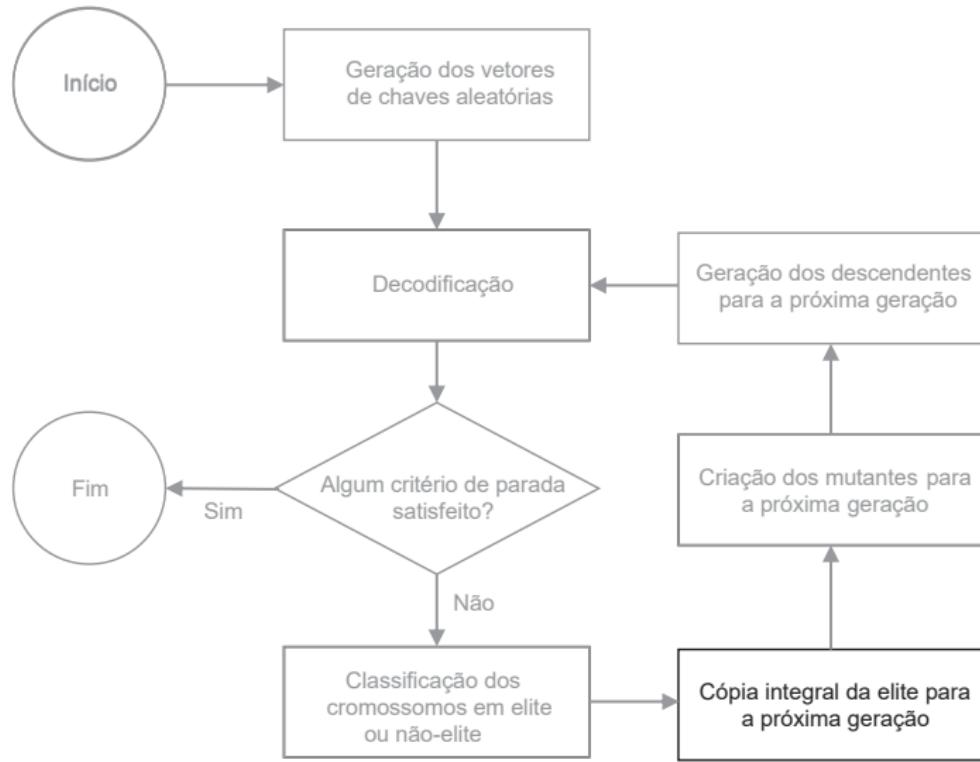
1,8329

57

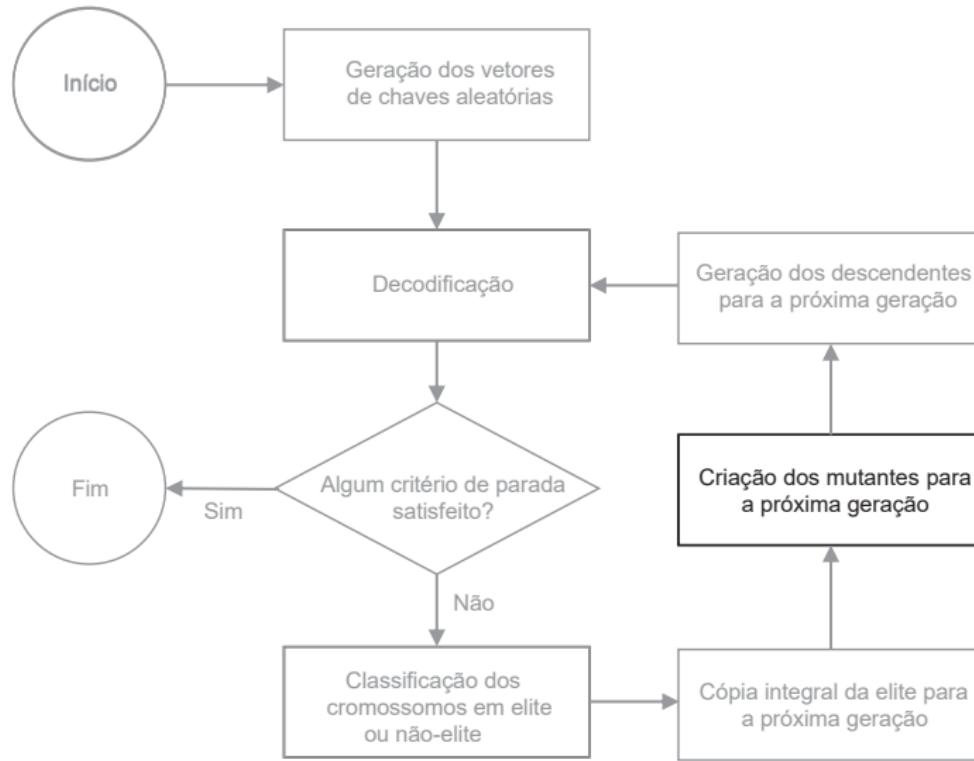
Funcionamento geral do BRKGA



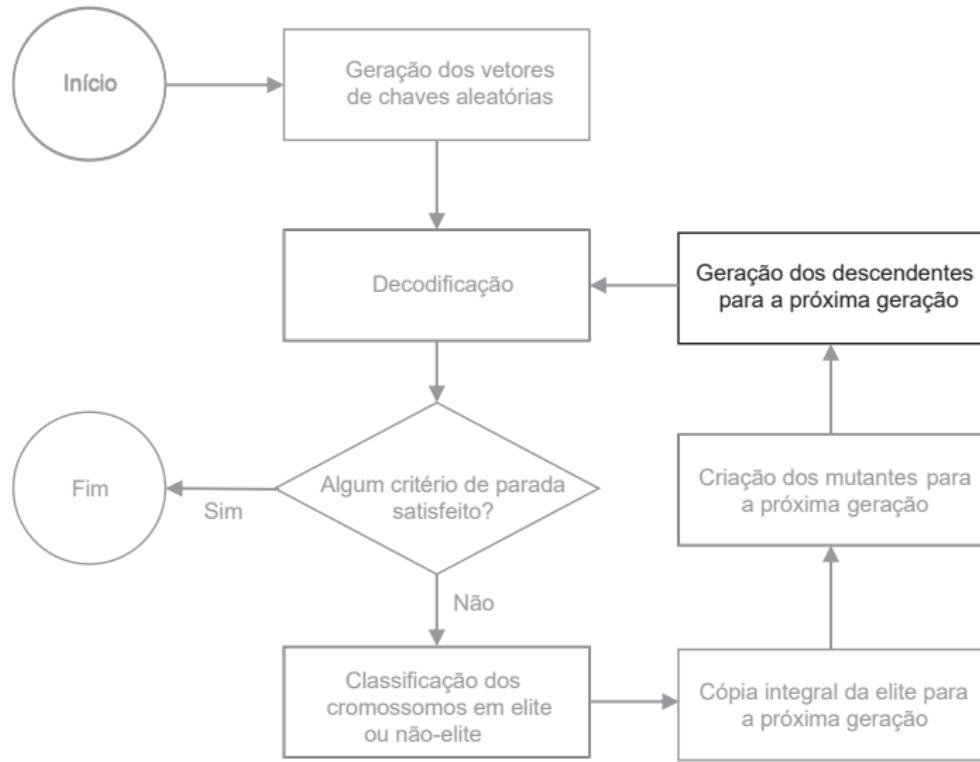
Funcionamento geral do BRKGA



Funcionamento geral do BRKGA



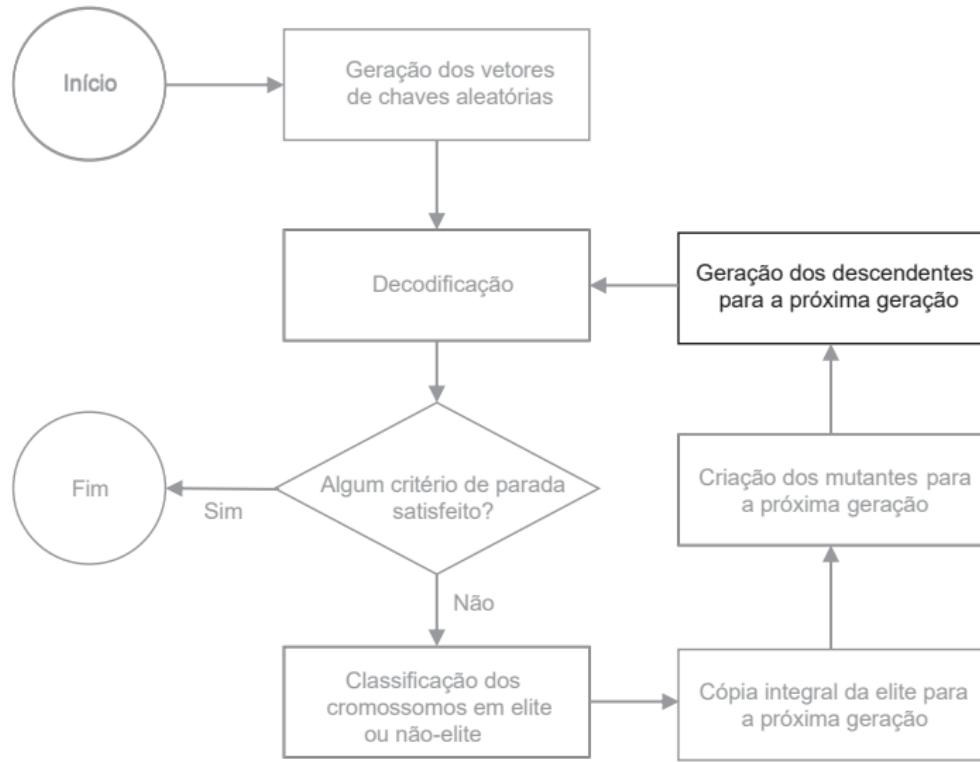
Funcionamento geral do BRKGA



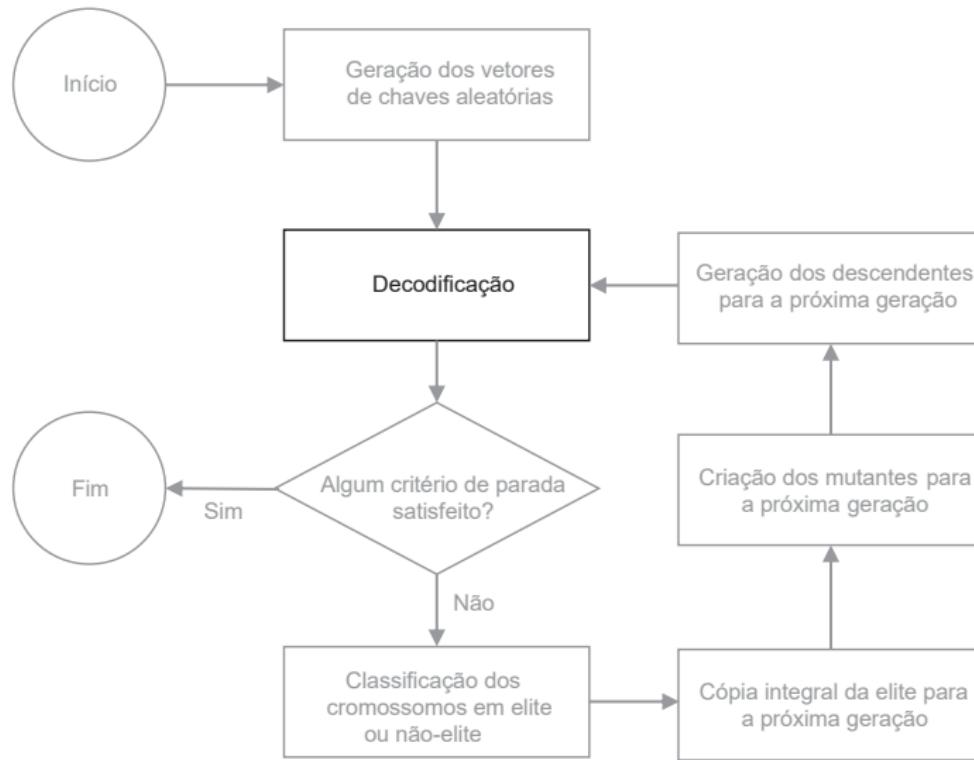
Crossover



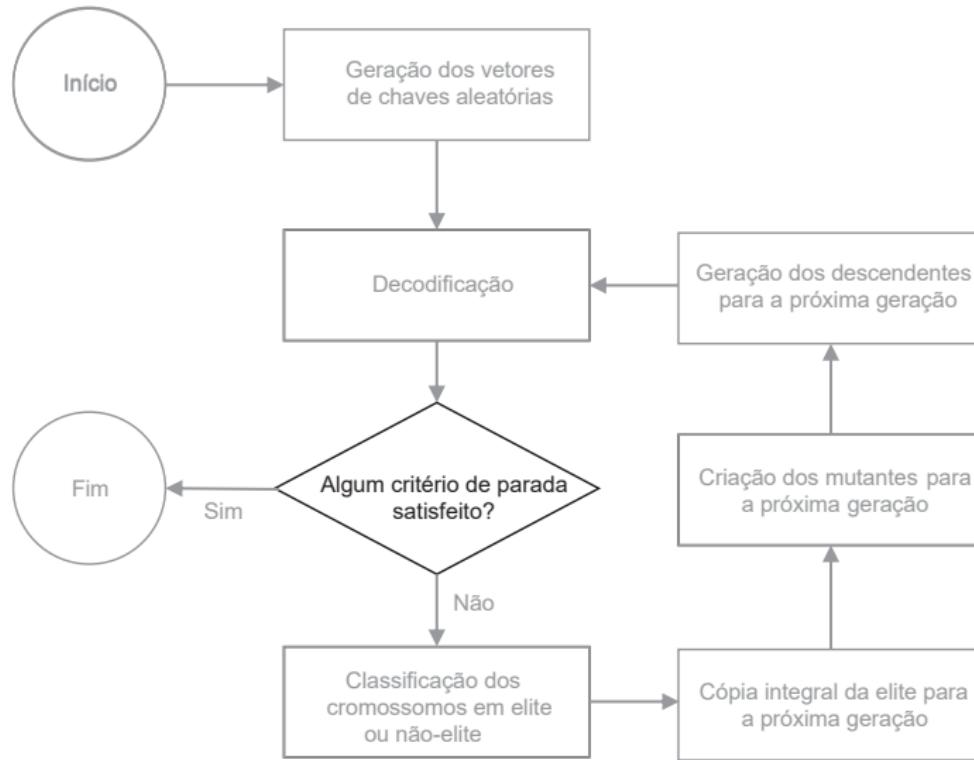
Funcionamento geral do BRKGA



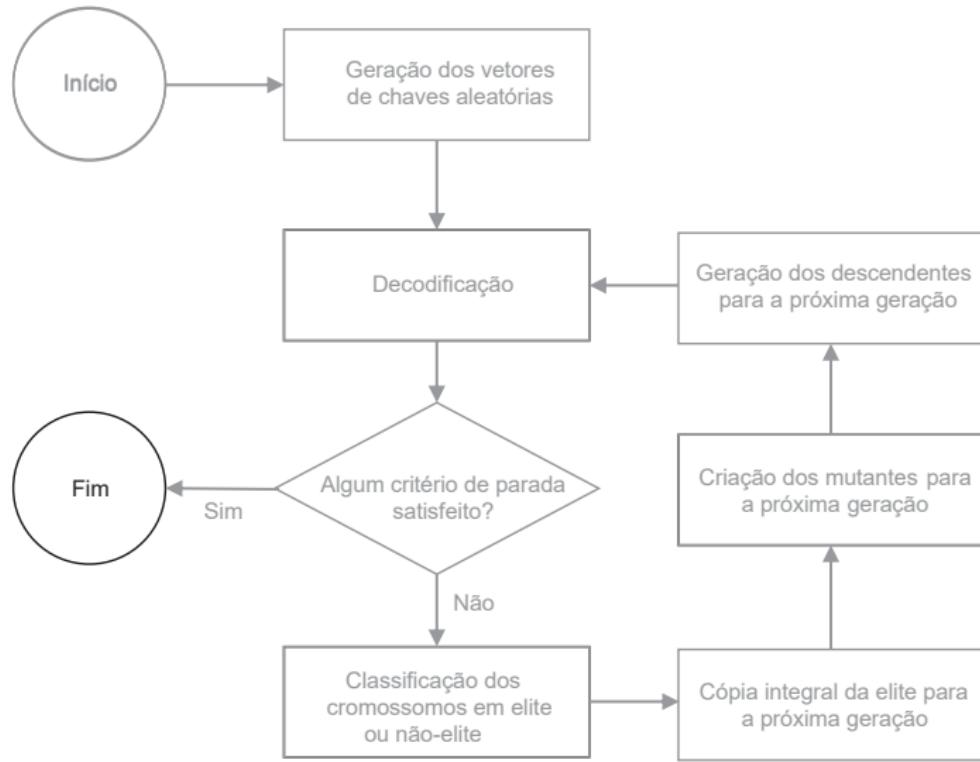
Funcionamento geral do BRKGA



Funcionamento geral do BRKGA



Funcionamento geral do BRKGA



Experimentos

Ambiente computacional

- ▶ *Intel i5 Quad Core de 2.3 GHz;*
- ▶ 8GB de memória RAM;
- ▶ Sistema operacional Ubuntu 17.10.

Implementação

- ▶ Foi utilizada a brkgaAPI, desenvolvida em C++;
- ▶ O código original foi alterado e compilado com g++ 7.2.0 e a opção de otimização -O3.

Experimentos

Ambiente computacional

- ▶ *Intel i5 Quad Core de 2.3 GHz;*
- ▶ 8GB de memória RAM;
- ▶ Sistema operacional Ubuntu 17.10.

Implementação

- ▶ Foi utilizada a brkgaAPI, desenvolvida em C++;
- ▶ O código original foi alterado e compilado com g++ 7.2.0 e a opção de otimização -O3.

Experimentos

Instâncias

- Foram utilizadas as 2880 instâncias dos dois únicos conjuntos disponibilizados na literatura.

Parâmetros do BRKGA definidos pelo software *irace*

Parâmetro	Valor
Tamanho da população	$10 \times t$
Percentual população elite	30%
Percentual população mutante	25%
Probabilidade de herdar do pai elite	85%

Experimentos

Instâncias

- Foram utilizadas as 2880 instâncias dos dois únicos conjuntos disponibilizados na literatura.

Parâmetros do BRKGA definidos pelo software *irace*

Parâmetro	Valor
Tamanho da população	$10 \times t$
Percentual população elite	30%
Percentual população mutante	25%
Probabilidade de herdar do pai elite	85%

Comparação com os Resultados da Literatura

IPMTC-I

m	n	l	S^*	S	σ	T
2	8	15	227,49	227,49	0,00	0,29
2	8	20	250,07	250,07	0,00	0,32
2	15	15	371,40	377,70	4,48	1,09
2	15	20	370,86	375,19	3,30	1,25
2	25	15	454,23	456,12	2,60	2,82
2	25	20	510,61	515,30	5,16	3,71
3	15	15	231,73	237,07	4,22	2,87
3	15	20	218,52	223,32	3,81	1,12
3	25	15	271,90	281,11	6,45	2,73
3	25	20	308,69	320,21	8,58	3,46
4	25	15	191,15	194,18	2,42	2,53
4	25	20	204,36	215,41	6,83	3,16

Comparação com os Resultados da Literatura

IPMTC-II

m	n	l	BRKGA			ALNS	
			S^*	T (s)	gap(%)	S^*	T (s)
3	50	30	1427,81	32,41	1,42	1407,82*	35531,80*
3	50	40	1579,76	42,18	4,96	1504,98*	506812,24*
4	50	30	1059,48	30,55	5,01	1008,85*	11705,45*
4	50	40	1100,58	40,95	6,35	1034,80	14311,55
4	100	30	2321,11	156,94	9,59	2118,00	14453,02
4	100	40	2887,53	232,56	-0,09	2890,21	14482,89
5	50	30	854,43	29,25	-1,21	864,96*	11159,07*
5	50	40	830,95	39,00	7,17	775,33	14044,71
5	100	30	1865,76	157,68	0,15	1862,95	14421,97
5	100	40	2416,46	245,89	-0,76	2435,08	14482,06

Comparação com os Resultados da Literatura

IPMTC-II

m	n	l	BRKGA			ALNS	
			S*	T (s)	gap(%)	S*	T (s)
6	100	30	1607,90	150,61	-8,13	1750,30	14440,46
6	100	40	2097,70	233,16	0,08	2095,85	14485,32
6	200	30	3403,85	517,28	5,94	3212,97	14524,60
6	200	40	4102,63	719,23	6,35	3857,63	14633,70
7	100	30	1338,40	153,22	1,68	1316,23	14428,71
7	100	40	1915,71	235,49	4,94	1825,48	14412,62
7	200	30	2814,40	511,41	7,15	2626,37	14541,80
7	200	40	3710,71	728,41	7,09	3465,02	14622,20

Comparação com os Resultados da Literatura

IPMTC-II

m	n	l	BRKGA			ALNS	
			S^*	T (s)	gap(%)	S^*	T (s)
8	200	30	2641,06	509,32	7,88	2448,02	14534,00
8	200	40	3228,00	713,67	6,77	3023,32	14624,40
9	200	30	2204,96	495,50	8,05	2040,53	14531,10
9	200	40	2751,45	706,72	3,91	2557,75	14637,40
10	200	30	2155,78	491,69	5,16	1995,75	14528,00
10	200	40	2431,03	693,86	8,77	2234,95	14634,70

Conclusões

- ▶ Foram apresentados resultados inéditos para o grupo de instâncias IPMTC-I;
- ▶ Em comparação ao estado da arte, o BRKGA obteve baixa divergência em relação à qualidade da solução, em baixo tempo computacional;
- ▶ Novos melhores resultados foram gerados para quatro dos grupos de instâncias considerados;

Trabalhos futuros

- ▶ Incluir métodos de busca local específicos do problema no processo evolutivo do BRKGA;
- ▶ Realizar melhorias no funcionamento da metaheurística, como operadores adaptativos e controle de diversidade do conjunto elite.

Conclusões e trabalhos futuros

Conclusões

- ▶ Foram apresentados resultados inéditos para o grupo de instâncias IPMTC-I;
- ▶ Em comparação ao estado da arte, o BRKGA obteve baixa divergência em relação à qualidade da solução, em baixo tempo computacional;
- ▶ Novos melhores resultados foram gerados para quatro dos grupos de instâncias considerados;

Trabalhos futuros

- ▶ Incluir métodos de busca local específicos do problema no processo evolutivo do BRKGA;
- ▶ Realizar melhorias no funcionamento da metaheurística, como operadores adaptativos e controle de diversidade do conjunto elite.

Conclusões

- ▶ Foram apresentados resultados inéditos para o grupo de instâncias IPMTC-I;
- ▶ Em comparação ao estado da arte, o BRKGA obteve baixa divergência em relação à qualidade da solução, em baixo tempo computacional;
- ▶ Novos melhores resultados foram gerados para quatro dos grupos de instâncias considerados;

Trabalhos futuros

- ▶ Incluir métodos de busca local específicos do problema no processo evolutivo do BRKGA;
- ▶ Realizar melhorias no funcionamento da metaheurística, como operadores adaptativos e controle de diversidade do conjunto elite.

Conclusões e trabalhos futuros

Conclusões

- ▶ Foram apresentados resultados inéditos para o grupo de instâncias IPMTC-I;
- ▶ Em comparação ao estado da arte, o BRKGA obteve baixa divergência em relação à qualidade da solução, em baixo tempo computacional;
- ▶ Novos melhores resultados foram gerados para quatro dos grupos de instâncias considerados;

Trabalhos futuros

- ▶ Incluir métodos de busca local específicos do problema no processo evolutivo do BRKGA;
- ▶ Realizar melhorias no funcionamento da metaheurística, como operadores adaptativos e controle de diversidade do conjunto elite.

Conclusões e trabalhos futuros

Conclusões

- ▶ Foram apresentados resultados inéditos para o grupo de instâncias IPMTC-I;
- ▶ Em comparação ao estado da arte, o BRKGA obteve baixa divergência em relação à qualidade da solução, em baixo tempo computacional;
- ▶ Novos melhores resultados foram gerados para quatro dos grupos de instâncias considerados;

Trabalhos futuros

- ▶ Incluir métodos de busca local específicos do problema no processo evolutivo do BRKGA;
- ▶ Realizar melhorias no funcionamento da metaheurística, como operadores adaptativos e controle de diversidade do conjunto elite.

Agradecimentos



Universidade Federal
de Ouro Preto

Agradecimentos

