

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**EDUARDO SHIGUERU KOYAMA  
THAIS MAYUME FUDO**

**APLICAÇÃO DE HEURÍSTICAS PARA O SEQUENCIAMENTO  
DINÂMICO DE ATIVIDADES EM MÁQUINA ÚNICA PARA A  
MINIMIZAÇÃO DO CUSTO DE MULTAS POR ATRASO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PONTA GROSSA  
2019**

**EDUARDO SHIGUERU KOYAMA  
THAIS MAYUME FUDO**

**APLICAÇÃO DE HEURÍSTICAS PARA O SEQUENCIAMENTO  
DINÂMICO DE ATIVIDADES EM MÁQUINA ÚNICA PARA A  
MINIMIZAÇÃO DO CUSTO DE MULTAS POR ATRASO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção, do Departamento de Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Everton Luiz de Melo

**PONTA GROSSA**

**2019**

	<p>Ministério da Educação <b>UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ</b> CÂMPUS PONTA GROSSA Departamento Acadêmico de Engenharia de Produção</p>	
---	--	---

## TERMO DE APROVAÇÃO DE TCC

### **APLICAÇÃO DE HEURÍSTICAS PARA O SEQUENCIAMENTO DINÂMICO DE ATIVIDADES EM MÁQUINA ÚNICA PARA A MINIMIZAÇÃO DO CUSTO DE MULTAS POR ATRASO**

por

Eduardo Shigueru Koyama

Thais Mayume Fudo

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 26 de novembro de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

*Prof. Dr. Everton Luiz de Melo*  
Prof. Presidente da banca

---

*Prof. Dr. Fábio José Ceron Branco*  
Membro titular

---

*Prof. Dra. Yslene Rocha Kachba*  
Membro titular

"A FOLHA DE APROVAÇÃO ASSINADA ENCONTRA-SE NA COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO"

Dedicamos este trabalho aos nossos  
pais e irmãs, que são as nossas  
maiores inspirações.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente gostaríamos de agradecer aos nossos pais, Akemi, Carlos, Satiko e Takashi, que sempre nos apoiam e incentivam o nosso crescimento pessoal e profissional, não medindo esforços para garantir que nossos conhecimentos sejam sempre aprimorados. E sem eles, não teríamos alcançado todas as nossas conquistas.

Às nossas irmãs, Cíntia, Michele, Mirian e Raquel, que nos inspiram e auxiliam a sermos pessoas melhores a cada dia, nos mostrando que podemos perseguir nossos sonhos e conquistar aquilo que almejamos sem mudar a nossa essência.

Aos nossos avós, pela compreensão por nossa ausência, entendendo que estamos em busca da nossa realização pessoal e profissional, e por não nos deixarem esquecer das nossas origens.

Ao nosso orientador, Prof. Dr. Everton Luiz de Melo, pela paciência e compreensão conosco durante essa etapa final do curso.

Aos nossos amigos Ana Luisa, Bruno, Détrich, Heloísa, Igor, Maísa, Marcos, Mariana, Rayssa, Ricardo e Vitor, que mesmo estando longe no dia a dia, nos mostraram o verdadeiro significado da amizade.

Por fim, aos amigos que fizemos durante a graduação, em especial ao Leonardo Ramos e Rita de Cássia, que nos acolheram quando mais precisávamos, e aos demais amigos da turma 2013/2 que certamente nunca esqueceremos.

## RESUMO

KOYAMA, Eduardo Shiguero, FUDO, Thais Mayume. **Aplicação de heurísticas para o sequenciamento dinâmico de atividades em máquina única para a minimização do custo de multas por atraso.** 2019. 91 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2019.

A pesquisa operacional vem sendo aplicada ao planejamento e controle da produção em diversas áreas, seja de serviços ou de bens de consumo. Através da otimização de elementos chaves, como logística, custos, melhor distribuição de recursos, sequenciamento de atividades ou processos, entre outros, tem-se um melhor desempenho no mercado. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo estudar um cenário no qual indústrias estão sujeitas à aplicação de multas por tarefas não entregues no prazo determinado. Em um ambiente produtivo composto por máquina única, foram designadas tarefas a serem cumpridas em determinados prazos, cada qual com uma multa relacionada ao atraso de sua entrega. Para a implementação, foi utilizada uma heurística de melhoria aplicada na linguagem de programação C. Em 99,25% das instâncias houve diminuição do custo das multas por atraso, quando comparado ao sequenciamento inicial. No total foram executados experimentos com 800 instâncias, de 20 a 1000 atividades. As reduções de custos pela aplicação da melhoria chegaram a 52,5%.

**Palavras-chave:** Programação da Produção. Heurísticas. Máquina Única. Sequenciamento Dinâmico. Multa por Atraso.

## ABSTRACT

KOYAMA, Eduardo Shigueru, FUDO, Thais Mayume. ***Application of Heuristics for the dynamic sequencing of activities in single machine for the minimization of the cost of late penalty.*** 2019. 91 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Federal University of Technology – Paraná, 2019

Operational research has been applied to production planning and control in several areas, whether services or consumer goods. Through optimization of key elements such as logistics, costs, better distribution of resources, sequencing of activities or processes and among others, we have a better performance in the market. Because of those variables, this work aimed to study a scenario in which the industries are subject to the application of fines for delayed tasks not delivered in the determined period. In a productive environment composed of a single machine, tasks were assigned to be fulfilled in certain periods, each with a fine related to the delay of its delivery. For the implementation, an improvement heuristic was applied in the C programming language. In 99.25% of instances there was a reduction in the cost of late fines when compared to the initial sequencing. In total 800 experiments were performed, with 20 to 1000 activities. Cost savings from applying the improvement amounted to 52.5%.

**Keywords:** Scheduling. Heuristic. Single Machine. Dynamic Sequencing. Late Penalty.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura lógica da abordagem quantitativa .....	35
Figura 2 - Estrutura da pesquisa experimental .....	36
Figura 3 - Sequência de atividades realizadas para execução deste trabalho	37
Figura 4 - Sequência das etapas seguidas na programação .....	44



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Funções de produção, marketing e finanças .....	18
Quadro 2 – Dados do exemplo e ordenação inicial com cinco atividades .....	45
Quadro 3 - Novos valores devido à falha ocorrida na Atividade 1 .....	46
Quadro 4 - Apresentação dos valores sobre a primeira sugestão de troca das posições das atividades .....	47
Quadro 5 – Apresentação dos valores com a troca das posições, colocando a Atividade 5 na posição 3 .....	47
Quadro 6 - Apresentação dos valores com a troca das posições, colocando a Atividade 4 na posição 4 .....	48
Quadro 7 - Apresentação dos valores com a troca das posições, colocando a Atividade 3 na posição 2 .....	49
Quadro 8 - Apresentação dos valores com a troca das posições, colocando a Atividade 3 na posição 3 .....	49
Quadro 9 - Apresentação dos valores com a troca das posições, colocando a Atividade 4 na posição 2 .....	50
Quadro 10 - Apresentação dos valores com a troca das posições, colocando a Atividade 4 na posição 3 .....	51
Quadro 11 - Sementes inseridas para cada instância variando o número de atividades.....	52
Quadro 12 - Principais informações dos resultados obtidos neste trabalho.....	53
Quadro 13 - Evolução da multa acumulada com e sem a heurística aplicada na instância 77 de 20 atividades .....	55
Quadro 14 - Evolução da multa acumulada da instância 9 de 50 atividades ...	56

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Gráfico de Gantt no ambiente <i>Jobshop</i> com três máquinas e cinco tarefas.....	29
Gráfico 2 - Gráfico de Gantt no ambiente <i>Flowshop</i> com três máquinas e cinco tarefas.....	30
Gráfico 3 - Representação do <i>makespan</i> em máquinas paralelas com três máquinas e doze tarefas, com <i>makespan</i> igual a treze unidades de tempo....	31
Gráfico 4 - Representação do <i>flowtime</i> em máquinas paralelas com três máquinas e doze tarefas .....	32
Gráfico 5– Representação de um JIT ideal com três máquinas e três tarefas .	33
Gráfico 6 - Representação de atraso das tarefas com três máquinas e cinco atividades.....	34
Gráfico 7 - Gráfico de Gantt da solução inicial referente ao Quadro 2.....	45
Gráfico 8 - Gráfico de Gantt referente ao Quadro 3 .....	46
Gráfico 9 - Gráfico de Gantt com os dados após a primeira troca realizada ....	47
Gráfico 10 - Gráfico de Gantt com os dados após a segunda troca realizada .	48
Gráfico 11 - Gráfico de Gantt com a ordenação apresentada no Quadro 8.....	50
Gráfico 12 - Evolução da multa acumulada da instância 77 de 20 atividades .	54
Gráfico 13 - Evolução da multa acumulada da instância 9 de 50 atividades ...	56
Gráfico 14 - Porcentagem de instâncias melhoradas de cada grupo de atividades.....	58
Gráfico 15 - Gráfico do tempo médio de execução de cada grupo de atividade .....	59
Gráfico 16 – Melhorias mínimas, médias e máximas de cada grupo de atividades.....	60

## LISTA DE SIGLAS

JIT	<i>Just-in-Time</i>
LPT	<i>Longest Processing Time</i>
PCP	Planejamento e Controle da Produção
SPT	<i>Shortest Processing Time</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
1.1 PROBLEMA	13
1.2 JUSTIFICATIVA	13
1.3 OBJETIVOS	14
1.3.1 Objetivo Geral	14
1.3.2 Objetivos Específicos	14
1.4 DELIMITAÇÃO DO TEMA	15
1.5 ESTRUTURA	15
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>17</b>
2.1 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO	17
2.1.1 Falhas	19
2.2 PESQUISA OPERACIONAL	20
2.3 PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO	21
2.3.1 Modelos Conceituais	24
2.3.2 Modelos Matemáticos	24
2.3.3 Métodos Heurísticos	25
2.4 AMBIENTES DE PRODUÇÃO	27
2.4.1 Máquina Única	27
2.4.2 Máquinas Paralelas	28
2.4.3 <i>Jobshop</i>	29
2.4.4 <i>Flowshop</i>	30
2.4.5 <i>Openshop</i>	30
2.5 CRITÉRIOS DE OTIMIZAÇÃO	30
2.5.1 <i>Makespan</i>	31
2.5.2 <i>Flowtime</i>	31
2.5.3 <i>Just-In-Time</i>	32
2.5.4 Atraso Ponderado	33
<b>3 METODOLOGIA</b>	<b>35</b>
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	35
3.2 ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO	37
3.2.1 Referencial Teórico	37
3.2.2 Escolha dos Critérios de Avaliação	38
3.2.3 Definição do Universo	39
3.2.4 Geração e Tratamento de Dados	39
3.2.5 Implementação das Heurísticas	40
3.2.6 Análises dos Resultados	40
<b>4 DESENVOLVIMENTO</b>	<b>41</b>
<b>5 RESULTADOS</b>	<b>52</b>
5.1 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS	52
5.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS	53
<b>6 CONCLUSÕES</b>	<b>61</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>63</b>
<b>APÊNDICE A – Dados das instâncias</b>	<b>67</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Em todo tipo de produção de produtos ou de execução de serviços é necessário definir como e quando as atividades serão executadas. Essas definições relacionadas aos processos produtivos são a chave para alcançar uma vantagem competitiva frente aos concorrentes.

Com o avanço de tecnologias, os clientes passaram a ser mais exigentes. Logo as empresas precisam sempre buscar uma melhora na sua eficiência. Nesta situação o Planejamento e Controle da Produção (PCP) mostra sua importância, já que ele atua nas ações de tomadas de decisões que auxiliam nesse momento de competitividade.

O PCP é um dos principais processos que gerenciam as atividades de manufatura para satisfazer a demanda e, segundo Slack et al (2018), o PCP garante a produção de produtos e serviços de acordo com as necessidades dos consumidores através de processos eficazes e eficientes. Um erro comum em empresas de pequeno e médio porte é que as estratégias de produção e os planos de negócio não estão alinhados. Assim a comunicação entre os setores é precária, levando à diminuição da eficiência, eficácia, lucros e à dificuldade de atingir as metas (BARDAL et al, 2010).

O PCP é responsável por definir quando comprar matéria prima, qual a quantidade necessária, quando fabricar e montar cada item que compõe o produto, além de emitir as ordens de produção.

O sequenciamento de tarefas é essencial quando a empresa tem restrição de equipamento, mão de obra, material, matéria prima ou algum outro recurso que seja essencial para a execução da produção e essas restrições entram em conflito direto com as resoluções dos objetivos.

A programação de tarefas é utilizada como forma de alocar as tarefas nas máquinas disponíveis a fim de otimizar alguma função objetivo, sendo as mais comuns minimizar: a diferença entre o fim e o começo do processamento de uma sequência de tarefas; o tempo de fluxo; o tempo de atraso e/ou adiantamento da entrega; o tempo de máquina parada; entre outros.

Para a programação de tarefas é comum a utilização de métodos heurísticos aplicados em programas computacionais. Este trabalho estudou a

minimização dos custos de multas por atraso no problema de programação de tarefas no ambiente de máquina única aplicando uma heurística de melhoria.

## 1.1 PROBLEMA

Como realizar a programação de tarefas em máquina única minimizando o custo de multa por atraso?

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Segundo Leme (1983), no final do século XVIII, alguns gestores aplicavam métodos e ferramentas avançadas tais como: custos envolvidos nos processos e operações; arranjo de fábrica (máquinas, instalações); e até mesmo pesquisa de mercado e programação da produção.

Pode-se perceber que este ramo da engenharia ainda é muito recente, e com o passar do tempo outros assuntos começaram a ser considerados e introduzidos no âmbito da Engenharia de Produção. Com os avanços dos estudos nesta área já é possível planejar toda a cadeia produtiva através do auxílio computacional e de métodos voltados para gestão.

No planejamento da cadeia produtiva podem estar a obtenção da previsão de demanda, a programação e também o controle da produção, os pedidos de matéria prima, a necessidade de estocar produtos ou insumos, entre outros fatores que possam influenciar a tomada de decisão. Porém, não se pode generalizar todo este conhecimento e aplicá-lo da mesma forma para todos os tipos de negócio, sejam eles de produção de bens de consumo ou de serviços. Assim sendo, é preciso adaptar o *know-how* já existente para que se possa obter o desempenho desejado.

A programação da produção é um planejamento de curto prazo que depende de vários fatores para a ordenação das tarefas. Tamanho do lote, tempo de produção, prazo de entrega e criticidade são alguns deles. E caso

aconteça algum imprevisto, é interessante reprogramar a produção para que seja possível uma análise das opções na tomada de decisão.

Na contratação de serviços é comum que uma penalidade financeira seja aplicada caso ocorra atraso na entrega do produto ou serviço por parte da contratada. Por esse motivo, este trabalho terá como objetivo minimizar o custo total de multas por atraso através da adaptação e análise das ordenações de tarefas em ambiente de máquina única.

Os atrasos das tarefas podem acontecer por falta de recursos, falta de planejamento, por não alocar as tarefas da forma mais eficiente, imprevistos, entre outros. Dos motivos citados, o último é o único inevitável e que será considerado neste trabalho para que a heurística estudada seja aplicada na resolução deste problema.

Dos imprevistos pode-se considerar o acidente de trabalho, a falta não planejada de funcionários, falha no equipamento, queda de energia, atraso na entrega de matéria prima pelo fornecedor, em suma, tudo o que não é possível prever.

### 1.3 OBJETIVOS

Nesta seção são apresentados os objetivos que direcionaram este trabalho, sendo classificados como objetivo geral e objetivos específicos.

#### 1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é apresentar uma proposta de realizar a programação da produção em máquina única minimizando custos de multas por atraso.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos tratados neste trabalho são:

- i. Pesquisar métodos já existentes na literatura para a resolução do problema;
- ii. Implementar os métodos heurísticos na linguagem C para a resolução do problema;
- iii. Analisar os resultados obtidos dos métodos heurísticos, comparando-os com os dados iniciais em ambiente de máquina única;
- iv. Identificar o melhor cenário para aplicação do método apresentado em ambiente de máquina única;

#### 1.4 DELIMITAÇÃO DO TEMA

A delimitação deste trabalho está em identificar métodos existentes na literatura para auxiliar na resolução do problema, tendo como objetivo minimizar o custo total de multa por atraso, causado por imprevistos em ambiente de máquina única. Por se tratar de um problema em que a programação é adaptada durante a execução das atividades, este ambiente foi escolhido primeiramente pois pode ser um ponto de partida para outros ambientes. Foram utilizados dados gerados aleatoriamente, e foram implementados métodos heurísticos para resolução do problema a fim de comparar os resultados obtidos com os dados iniciais.

#### 1.5 ESTRUTURA

Este trabalho está disposto em capítulos. O Capítulo 2 aborda o referencial teórico onde são explicados o PCP, a Pesquisa Operacional (PO), a programação da produção, os ambientes de produção e os critérios de otimização. O Capítulo 3 traz a metodologia do trabalho, bem como a classificação da pesquisa e detalhes das etapas de desenvolvimento. O Capítulo 4 apresenta como os dados foram obtidos para cada instância bem como o funcionamento da heurística aplicada aos problemas simulados. Os resultados



e análise dos dados obtidos são apresentados no Capítulo 5. Por fim, no Capítulo 6 consta a conclusão deste trabalho e sugestões para futuros trabalhos relacionado a esse tema.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O Capítulo 2 apresenta a pesquisa realizada sobre os temas abordados neste trabalho. Inicia-se com algumas definições e esclarecimentos sobre o PCP e PO. Além disso, são abordados assuntos que ajudam no melhor entendimento do problema estudado, como programação da produção, tipos de ambientes de produção e critérios de otimização.

### 2.1 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

O PCP, tem como função cuidar de todas as áreas relacionadas a produção de bens de consumo ou serviços através de atividades designadas ao gerente do sistema produtivo (SLACK et al, 2018).

Para Peinado e Graeml (2007), a administração da produção é o conjunto de diversos assuntos, os quais se forem estudados isoladamente, perdem o real significado. As atividades designadas a esse seguimento acontecem em uma frequência bastante alta.

O sistema produtivo abrange diversas funções operacionais. Os responsáveis por esta área planejam desde o projeto do produto, recrutamento e treinamento de indivíduos, aplicação dos capitais, controle de estoque, entre outros. Todas as funções atribuídas a esse sistema são agrupadas em três categorias: produção, *marketing* e finanças e suas funções estão descritas no Quadro 1 (TUBINO, 2017).

Para que o sistema funcione e tenha sucesso é necessário que esses três grupos trabalhem harmoniosamente, respeitando as necessidades e restrições de cada um. Por exemplo, se a área produção só consegue produzir  $x$  produtos, a área *marketing* pode promover a venda deste produto apenas na quantidade  $x$ , não mais do que isso (TUBINO, 2017).

**Quadro 1 - Funções de produção, marketing e finanças**

<b>Categoria</b>	<b>Funções</b>
Produção	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gerar bens ou serviços comercializados pela empresa;</li> <li>• Transformar insumos em bens ou serviços por meio de um ou mais processos;</li> <li>• Adicionar valor ao produto ou serviço durante a transformação.</li> </ul>
<i>Marketing</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vender os bens e serviços produzidos;</li> <li>• Promover os bens e serviços produzidos;</li> <li>• Decidir a estratégia de publicidade;</li> <li>• Estimar o preço dos produtos ou serviços;</li> <li>• Entender o mercado;</li> <li>• Estabilizar a demanda através dos bens e serviços solicitados;</li> <li>• Envolver os clientes na otimização do projeto e produção dos bens e serviços.</li> </ul>
Finanças	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Administrar os recursos financeiros da empresa;</li> <li>• Alocar os investimentos onde forem necessários;</li> <li>• Providenciar o orçamento e acompanhamento de receitas e despesas;</li> <li>• Preparar o orçamento a longo prazo.</li> </ul>

**Fonte: Adaptado Tubino (2017)**

Ainda segundo Tubino (2017), além desses três grupos, existem as funções de suporte:

- **Engenharia:** tem como função toda parte técnica de projeto dos produtos, dos processos de fabricação e montagem dos bens e serviços. Este grupo pode ser subdividido em engenharia do produto e engenharia do processo; sendo que o primeiro envolve o projeto do produto, como o desenho, as dimensões, os materiais, entre outros. Já o segundo envolve a programação de fabricação, montagem do produto projetado e a definição de como e onde será produzida cada parte do produto. A engenharia auxilia o PCP a identificar o que será produzido e como produzir os produtos pedidos pelos clientes;
- **Suprimentos:** é responsável pela aquisição das matérias-primas, componentes, equipamentos e materiais indiretos necessários para a produção, além de buscar fornecedores. Suprimentos depende da informação dada pelo PCP sobre o planejamento de quantidade materiais e prazos para a reposição do estoque inicial;
- **Manutenção:** tem como principal função manter em estado de utilização todos os equipamentos e instalações do sistema de produção. E também tem como responsabilidade a produção do ferramental, de pequenas máquinas e das condições ambientais. A boa execução da manutenção é de interesse do PCP, já que o mau

funcionamento dos equipamentos ou mau ambiente de trabalho influencia diretamente o rendimento da produção;

- Recursos humanos: tem como função recrutar e treinar os colaboradores, estabelecer as relações trabalhistas, negociar contratos, e fazer com que todos os indivíduos relacionados à empresa se sintam valorizados. O PCP e recursos humanos têm uma relação a longo prazo – definindo a demanda de produção e a política de recrutamento e treinamento – e a curto prazo – alocando os funcionários conforme a necessidade.

Várias áreas fazem parte do PCP como foram apresentados, cada uma com sua importância no processo, devendo sempre ter o foco para melhorar as áreas deficientes, mas isso não quer dizer que as outras devem ser esquecidas. A melhoria contínua em todas elas irá trazer ótimos resultados para empresa, uma vez que o PCP é o ponto vital para esta, seja qual ramo em que atua.

### 2.1.1 Falhas

De acordo com Kintsakis et al (2019), as falhas podem impactar significativamente no tempo de processamento da programação. Quando as tarefas são executadas no mesmo local, é possível também que elas possam ocorrer várias vezes sem limite para o número de eventos.

Qualquer desvio da expectativa de confiabilidade de uma operação é uma falha operacional. A falha pode ser classificada como potencial ou funcional, sendo a primeira quando começam a aparecer indícios de falha, mas a operação não teve impacto sobre isso. Já a segunda é aquela que o efeito de alguma anormalidade é percebido. Então, com o tempo, toda falha potencial poderá resultar em uma falha funcional (CAMPOS, 2013).

Segundo Slack et al (2018), os motivos dos sistemas falharem são diversos e pode acontecer de terem mais de uma origem. Os principais são falhas de instalação, humana ou de fornecedores.

- Falhas de instalações: se devem principalmente à sua complexidade, visto que qualquer instalação de máquinas, equipamentos ou

acessórios estão suscetíveis às quebras, ou seja, atraso da atividade produtiva;

- Falhas humanas: são comuns como causa raiz já que os seres humanos têm momentos de desatenção, falta de capacitação, falha na comunicação e entre outros fatores que auxiliam no erro operacional;
- Falhas de fornecedores: são matérias ou serviços comprados que não atendem as necessidades solicitadas. Nesse caso, o grau de dependência de fornecedor, a importância do insumo e o risco de falha são diretamente proporcionais, por isso é importante ter uma boa gestão de fornecedores na política de gestão da empresa.

Em toda operação de serviço ou produto existe alguma possibilidade de ocorrência de falhas, pois algum fator pode sair do programado. Quando isso acontece, pode ser que o custo seja alto, não apenas financeiramente, mas socialmente, já que a sociedade está cada vez mais intolerante com falhas que têm como consequência impacto social (SLACK et al, 2018).

## 2.2 PESQUISA OPERACIONAL

Segundo Andrade (2017), a PO surgiu na Segunda Guerra Mundial, quando os pesquisadores da época desenvolveram métodos a fim de solucionar os problemas de operação militar. Os novos métodos tiveram tanto sucesso que a área acadêmica e a empresarial aplicaram as técnicas desenvolvidas de forma adaptada ao meio utilizado. Esta análise de decisão era utilizada por equipes multidisciplinares, que se baseavam em métodos qualitativos, para possibilitar a melhor utilização dos recursos e programar as operações de forma otimizada.

Já Arenales et al (2015) afirmam que a PO surgiu um pouco antes, com a invenção do radar na Inglaterra em 1934. Mas apenas em 1941 foi criada a Seção de Pesquisa Operacional do Comando da Força Aérea de Combate em que a equipe resolvia como escolher o melhor tipo de avião para operação, como

umentar a probabilidade de destruir o submarino inimigo e planejar a manutenção e inspeção dos aviões.

No Brasil, foi realizado na década de 1960 o primeiro Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional realizado no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA) na cidade de São José dos Campos no estado de São Paulo (ARENALES et al, 2015).

Alguns autores definem a PO como uma abordagem científica para tomada de decisão, a qual determina a melhor maneira de projetar e operar um sistema que demandam uma aplicação de recursos escassos. A sociedade europeia define como “uma abordagem científica para a solução de problemas no gerenciamento de sistemas complexos”, mas resumindo, pode-se definir a PO como um enfoque científico sobre a tomada de decisões (ARENALES et al, 2015).

Um novo enfoque na tomada de decisão surgiu das características multidisciplinares, conhecido como enfoque sistêmico, que permite uma abordagem mais aberta já que o ambiente de negócio é muito complexo e abrangente. Outra vantagem da PO é que a tomada de decisão pode ser avaliada e testada antes da implementação, e assim, economizando recursos (ANDRADE, 2017).

O avanço nesta área está diretamente ligado ao desenvolvimento dos computadores digitais, como a velocidade de processamento, capacidade de armazenamento e recuperação das informações, e ao processamento descentralizado através de microcomputadores, auxiliando na versatilidade e rapidez dos modelos desenvolvidos e na maior interatividade (ANDRADE, 2017).

### 2.3 PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO

Segundo Pinedo (2016), a programação da produção é um tipo de problema de tomada de decisão usado nas indústrias de manufaturas ou nas indústrias de serviços. Esta decisão implica na alocação de recursos para a realização de tarefas durante um tempo para atingir um ou mais objetivos de otimização.

Estes recursos podem ser máquinas no chão de fábrica, pistas de aeroportos, pedreiros em uma construção, entre outros. Assim como as tarefas podem ser as atividades a serem realizadas pelo maquinário, aviões que precisam aterrissar ou decolar e etapas de uma construção. Os objetivos também podem ter várias naturezas, sejam eles minimizar o tempo total de produção ou diminuir o número de tarefas entregues após o prazo pré-estabelecido (PINEDO, 2016).

Um modelo de programação da produção pode ser adotado com diversas finalidades, como: reduzir os tempos médios de atendimento, reduzir o tempo de fluxo, estoques intermediários, maximizar o uso dos recursos, melhorar a confiabilidade nos prazos de entrega, entre outros. (PACHECO e SANTORO, 2001).

Cakici e Mason (2007) propuseram duas soluções de programação da produção, e um modelo matemático em máquinas de foto litografia para fabricação de semicondutores. Estas soluções foram baseadas na Busca Tabu e com essa programação, atingiram uma solução quase ótima.

Biskup et al (2008) desenvolveram um algoritmo heurístico para problemas de máquinas paralelas idênticas, tendo como objetivo minimizar o atraso total.

Ferreira et al (2008) estudaram um problema de dimensionamento e sequenciamento dos lotes de produção de uma fábrica de refrigerante de pequeno porte. Foram considerados os tempos e custos de *setups* dependentes do sequenciamento de tarefas, e foi proposta uma otimização inteira mista com variações da heurística *relax and fix*. Os resultados foram comparados com a solução de exemplares do modelo, concluindo que a abordagem do trabalho atingiu soluções melhores do que a empresa adotava.

Mainieri e Ronconi (2010) analisaram o problema de minimização do atraso total no ambiente *flowshop* flexível, com restrição de data de entrega. O objetivo foi de minimizar o *makespan*, comparando com outras regras já conhecidas pela literatura, sendo que o modelo desenvolvido superou o resultado destas regras.

Lin et al (2011), após compararem o desempenho de várias heurísticas, desenvolveram uma meta-heurística para problemas de programação da

produção de máquinas paralelas não relacionadas, que ficou conhecida como programação linear/*round up*, a qual superou outras heurísticas já existentes.

Chaves et al (2012) apresentaram uma nova heurística para problema de minimização de troca de ferramentas, que foi baseada na meta-heurística de busca local iterativa, e como resultado, o método apresentado mostrou um bom desempenho.

Penna et al (2012) desenvolvem um algoritmo que é constituído por três fases, sendo o foco em problemas de sequenciamento em uma única máquina, considerando as penalidades por antecipação e atraso da produção. A primeira fase do algoritmo gera a solução inicial, que é feita com a descida em vizinhança variável. A segunda fase refina a solução, a qual se baseia na Busca Tabu. A terceira fase é a pós-otimização, que é a reconexão por caminhos. E os resultados indicaram que esse algoritmo desenvolvido superou alguns algoritmos da literatura.

Torres et al (2015) utilizam a metodologia híbrida para um problema de sequenciamento de tarefas com restrição de recursos. Este sequenciamento foi baseado no algoritmo *branch and bound* e combinado com quatro heurísticas. O objetivo é diminuir os ramos de busca com a maior probabilidade de não descartar os ramos com soluções ótimas. No final, o algoritmo é testado e com isso, foi possível concluir que os resultados obtidos são favoráveis.

Melo e Ronconi (2015) abordam o ambiente *jobshop* flexível, extensão do problema NP-Difícil *jobshop*, e utilizam a minimização do atraso total como critério. Para isso, o modelo tem duas fases, primeiramente são identificadas quais são as máquinas habilitadas por operação e seus respectivos tempos de processamento. Em seguida, para explorar as características e antever o estado futuro do sistema, são propostas novas regras. Comparando com regras da literatura, as regras propostas são superiores em 81% das instâncias testadas.

Avdeenko et al (2017) resolvem o problema de ordenação nos arranjos do campo de petróleo e gás, adaptando para um método de programação de máquinas paralelas não relacionadas, e abordam as condições reais. Eles propuseram para esse problema dois algoritmos eficientes com alta precisão e com um tempo de desempenho aceitável.

Segundo Wang e Alidaee (2018), os problemas de programação de máquinas paralelas idênticas e máquinas paralelas não relacionadas podem ser



resolvidos através da programação linear ou programação quadrática. A maioria dos estudos na literatura apresentaram esses problemas com formulação de programação inteira mista.

Sanches et al (2016) avaliaram diferentes métodos de aplicação do algoritmo *branch and bound*. Com o objetivo de minimizar o tempo de processamento em um tempo de fluxo, cujo ambiente *flowshop* com *buffer* zero. Neste trabalho concluiu-se que o uso de uma solução inicial reduz o tempo de processamento computacional.

Segundo Andrade (2017), o analista pode abordar o processo de decisão de três maneiras diferentes: modelos conceituais, modelos matemáticos e modelos heurísticos.

### 2.3.1 Modelos Conceituais

As informações e fases do processo são relacionadas de maneira sequenciais e lógicas, garantindo o controle do desenvolvimento a fim de atingir o objetivo desejado. Um bom exemplo para esse modelo é a aplicação de técnicas de PO (ANDRADE, 2017).

### 2.3.2 Modelos Matemáticos

Nesse modelo é considerado que todas as variáveis e informações relevantes para tomada de decisão possam ser quantificadas. As funções matemáticas são descritas de forma a relacionar essas informações e variáveis com a operação do sistema. Este modelo pode ser de simulação ou otimização. O primeiro permite a geração e a análise de alternativas antes da implementação dando mais liberdade e flexibilidade ao analista. O segundo seleciona uma única resposta considerada “ótima” e é utilizada para problemas em que as variáveis podem assumir diversos valores (ANDRADE, 2017).

Segundo Askin e Standridge (1993), para conseguir descrever um sistema real é utilizado um conjunto de equações matemáticas ou ligações lógicas nos modelos matemáticos. Quando o objetivo do método obtido é a otimização, esta procura o melhor valor para cada variável de decisão.

Geralmente, nas situações reais, as variáveis de decisão não têm relações lineares, ou devem ser consideradas como variáveis inteiras, dificultando a resolução do problema. Se o objetivo do método obtido é o desempenho, ou seja, prever o desempenho de cada variável, o modelo pode auxiliar o analista a medir o impacto no sistema modelado de acordo com cada mudança nas variáveis de decisão.

Para realizar uma modelagem matemática, existem três atividades fundamentais que são: avaliar a natureza do problema, levantar os dados e identificar as restrições e limitações (PIZZOLATO e GANDOLPHO, 2013).

Segundo Taha (2008), as três principais ações para a realização da modelagem são: descrever as alternativas de decisão, determinar o objetivo do método e identificar as limitações.

### 2.3.3 Métodos Heurísticos

São utilizados para problemas mais complexos e baseados em intuição e regras empíricas, com procedimento de busca inteligente realizado com técnicas de inteligência artificial (ANDRADE, 2017).

Métodos heurísticos são algoritmos que buscam resolver problemas de forma exploratória. E por esse motivo, a solução ótima dos problemas nem sempre é o alvo dos métodos heurísticos, pois, estes se baseiam em aproximações direcionadas a um ponto ótimo, não encontrando as soluções perfeitas, mas as melhores soluções possíveis (BUENO, 2009).

Segundo Souza e Moccelin (2000), os métodos heurísticos podem ser classificados de diversas maneiras, mas em geral são divididos em 2 grupos: métodos construtivos e métodos de melhoria.

#### I. Métodos Construtivos

É a forma pela qual é definida a sequência solução do problema proposto. Sendo obtido diretamente, a partir da priorização dos índices calculados de acordo com os tempos em que as tarefas são processadas. Dessa forma, é escolhida a melhor sequência de acordo com os parâmetros desejados. Ou através de um critério de alocação de tarefas em subsequências até que se obtenha uma ordenação completa das atividades (SOUZA e MOCCELIN, 2000).

Alguns exemplos de heurísticas construtivas citados na literatura são:

- SPT (*Shortest Processing Time*): a ordenação das tarefas a serem processadas é relativa ao tempo de processamento de forma crescente, ou seja, a próxima tarefa a ser processada é aquela que possui o menor tempo de processamento entre as tarefas em espera. É ótimo se a função objetivo for minimizar o tempo de fluxo (MONTEVECHI et al, 2002);
- LPT (*Longest Processing Time*): sua ordenação é a contrária do SPT, a próxima tarefa a ser processada é aquela que possui o maior tempo de processamento entre as tarefas em espera. É ótimo se a função objetivo for minimizar o tempo total da programação (MONTEVECHI et al, 2002);
- NEH (Algoritmo de Nawas, Enscore Jr. e Ham): primeiramente é realizada a indexação das tarefas, as quais são ordenadas de acordo com os valores decrescentes das somas dos tempos de processamentos. Feito isso, caracteriza-se a construção da sequência solução. Para isso, todas as tarefas da solução inicial são examinadas em todas as posições possíveis nas sequências parciais, fixando aquela que resulta na menor duração total da programação (NAWAS et al, 1983);
- FIFO (*first in, first out*): a ordem da execução da tarefa será igual a posição em que ela entrou na fila para ser realizada. Sendo assim, a primeira tarefa da fila será a primeira a ser executada, e assim por diante (HUNSUCKER; SHAH, 1992).

## II. Métodos de Melhoria

A partir de uma solução inicial obtida é aplicado um procedimento iterativo. Esse procedimento geralmente é realizado através das trocas das posições/ordens das atividades na sequência de acordo com um critério para priorizá-las. Tem como objetivo buscar uma ordenação que gere um resultado melhor do que a atual (SOUZA e MOCCELIN, 2000).

Alguns exemplos de métodos heurísticos de melhoria citados na literatura são:

- *Iterated Greedy*: gera uma sequência de soluções iterando sobre uma heurística construtiva usando duas fases principais: “desconstrução e construção”. Na desconstrução, alguns componentes da solução são removidos da solução candidata previamente construída. Na construção, é aplicada uma heurística para reconstruir uma solução candidata, e, depois de concluída, um critério de aceitação decide se esta solução recém-construída substituirá a estabelecida. Isso acontece até que o critério de parada seja atingido (RUIZ e STUTZLE, 2005);
- Busca Tabu: tem como objetivo fugir de ótimos locais. Armazena as informações de curto prazo, para evitar que as alterações recentes sejam desfeitas, e de longo prazo, que reforçam a procura por soluções mais distantes. Dessa maneira, encontra os ótimos locais, salvando as alterações (movimentos que geraram melhorias) e impedindo que esses movimentos sejam repetidos caso essa solução já tenha sido avaliada (GLOVER, 1986).

O critério de ordenação pode variar conforme as necessidades da empresa, e cabe a ela definir qual é o melhor critério e método que serão aplicados. Essa escolha é diretamente ligada ao ramo de atuação, à estratégia da empresa e ao ambiente de produção analisado.

## 2.4 AMBIENTES DE PRODUÇÃO

Os ambientes de produção podem variar e de acordo com a literatura esta variação engloba: máquina única, máquinas paralelas, *flowshop*, *jobshop* e *openshop*.

### 2.4.1 Máquina Única

Os problemas de máquina única são muito importantes, pois são simples, e é possível encaixá-los em vários tipos de situações. Por exemplo, em ambientes de máquinas paralelas o problema pode ser “quebrado” em

subproblemas e aplicados em máquina única. Assim os resultados obtidos servem de base heurística para resolução de problema desse ambiente mais complexo (PINEDO, 2016).

Segundo Baker et al (1990), o problema de sequenciamento em máquina única, que também é conhecido como sequenciamento de permutação, é considerado, na teoria, o problema mais básico e é caracterizado por algumas condições:

- Um conjunto de  $n$  tarefas com operações independentes disponíveis no tempo zero para processamento;
- Se o tempo de preparação da máquina (*setup*) para cada tarefa for independente da sequência, este valor pode ser incluído nos tempos de processamento;
- Enquanto houver tarefa para ser processada, não pode haver ociosidade da máquina; e
- A partir do momento que a tarefa é iniciada, ela é processada até o término, sem interrupção.

Por ser o ambiente mais simples, o problema de máquina única é o ponto inicial para analisar e estudar problemas mais complexos, podendo servir como referência para encontrar soluções que atendam as restrições.

#### 2.4.2 Máquinas Paralelas

Para Arenales et al (2015), o ambiente de máquinas paralelas pode ser categorizado como idênticas, uniformes e não relacionadas. A classificação como idênticas acontece quando cada tarefa tem o mesmo tempo de processamento e tempo de preparação para todas as máquinas. Se a variação do tempo de processamento e o tempo de preparação entre as máquinas forem proporcionais, esse ambiente é classificado como máquinas uniformes ou relacionadas. E em máquinas não relacionadas, o tempo de preparação e o tempo de processamento de cada máquina, como o próprio nome diz, não têm relação.

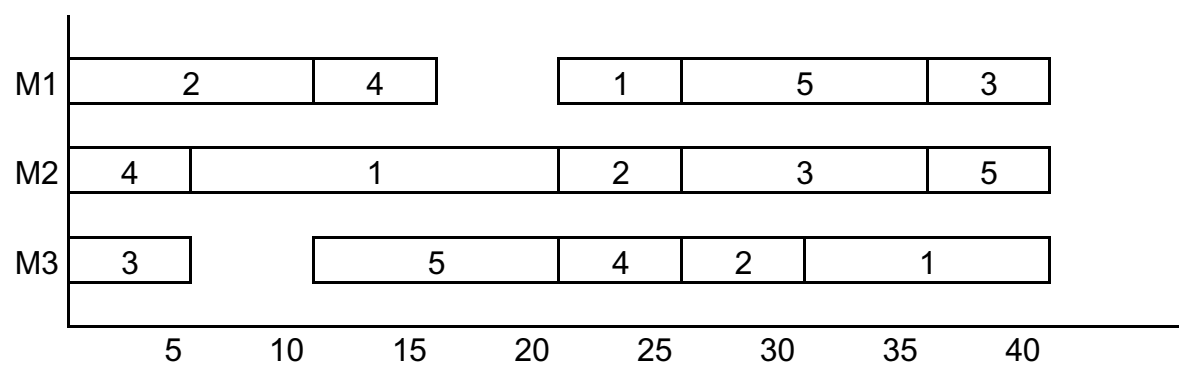
Segundo Pinedo (2016), problemas de máquinas paralelas são muito importantes tanto para o ponto de vista teórico, no qual este tipo de problema é uma generalização de máquinas únicas, quanto para o prático, pois é quando mais se aproxima das situações do mundo real.

Os problemas de programação da produção aplicados em máquinas paralelas seguem dois tipos de decisão: o primeiro é determinar quais atividades irão ser realizadas por cada máquina e o segundo é determinar as sequências dessas atividades a serem realizadas (PINEDO, 2016).

### 2.4.3 *Jobshop*

No ambiente *jobshop*, cada tarefa é processada nas máquinas conforme um roteiro pré-estabelecido, e o tempo de processamento e de preparo das tarefas nas máquinas não precisam ter relação, conforme mostra o Gráfico 1 (ARENALES et al, 2015).

**Gráfico 1 - Gráfico de Gantt no ambiente *Jobshop* com três máquinas e cinco tarefas**



Fonte: Adaptado Arenales et al (2015)

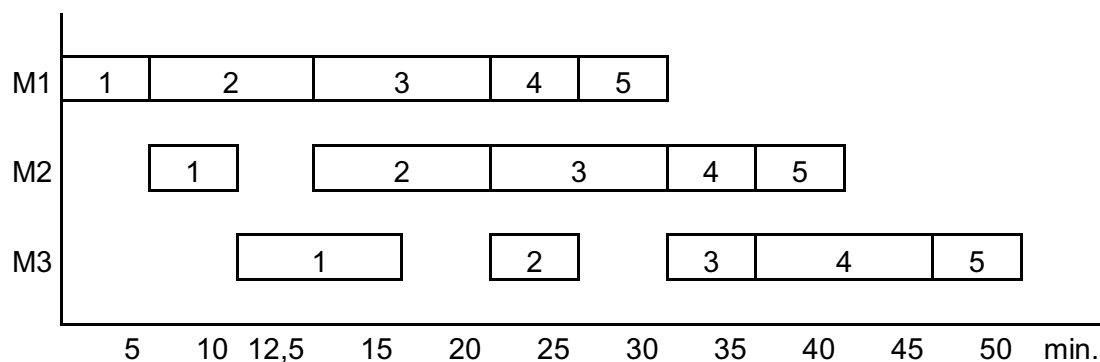
Em Napierala (2014) é afirmado que no ambiente *jobshop* o número de operações pode variar para cada tarefa, assim como a ordem de execução, mas esses dados já são pré-estabelecidos, e esse ambiente é mais familiar em produções por lotes ou unitária.

#### 2.4.4 Flowshop

Um ambiente *flowshop* é cujo as  $n$  tarefas têm a mesma sequência nas  $m$  máquinas. Ao se adaptar o modelo *jobshop* é possível gerar um modelo *flowshop*. Ou seja, o *flowshop* pode ser considerado um caso particular do *jobshop*. Porém essa formulação não é eficiente para obter uma solução ótima por pacotes de otimização (ARENALES et al, 2015).

O Gráfico 2 representa o ambiente *flowshop* através de um Gráfico de Gantt.

**Gráfico 2 - Gráfico de Gantt no ambiente *Flowshop* com três máquinas e cinco tarefas**



Fonte: Adaptado Arenales et al (2015)

#### 2.4.5 Openshop

Se as tarefas não possuem uma restrição de sequenciamento, ou seja, a ordem de processamento das tarefas não é preestabelecida, o problema é denominado como sequenciamento de ambiente aberto (NAPIERALA, 2014).

### 2.5 CRITÉRIOS DE OTIMIZAÇÃO

Alguns dos critérios de otimização utilizados na literatura consultada para a realização deste trabalho são o *makespan* (término da última tarefa), *flowtime* (tempo de fluxo), *Just-In-Time* (JIT), e o atraso ponderado.

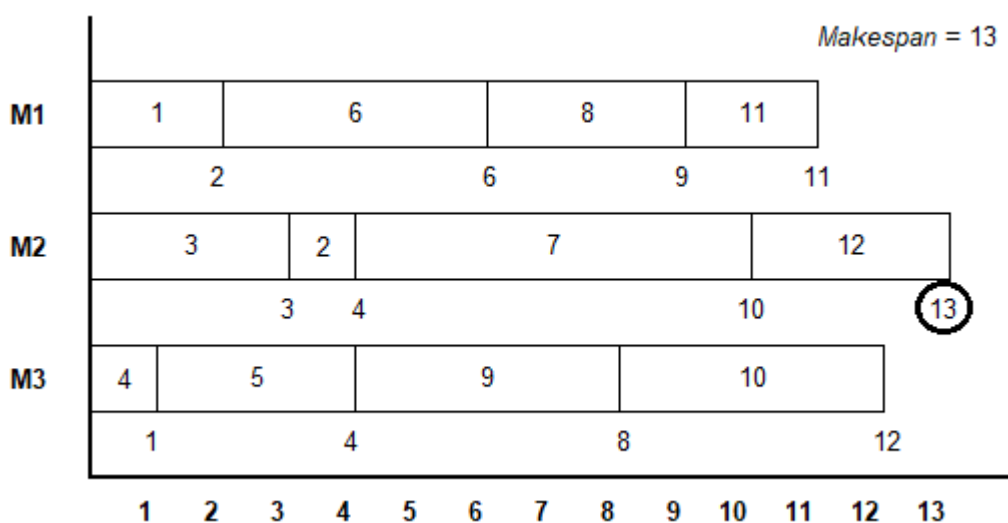
### 2.5.1 *Makespan*

No problema para minimizar o *makespan* (término da última tarefa), assume-se que cada máquina processa uma tarefa por vez e esta máquina não pode parar enquanto a última tarefa, conforme o sequenciamento, não for concluída (ARAÚJO et al, 2017).

O *makespan* representa a quantidade de recursos alocados a um conjunto de tarefas (GUPTA e HO, 2000).

O Gráfico 3 representa o *makespan* em máquinas paralelas em um Gráfico de Gantt.

**Gráfico 3 - Representação do *makespan* em máquinas paralelas com três máquinas e doze tarefas, com *makespan* igual a treze unidades de tempo**



Fonte: Autoria própria

Percebe-se que, no Gráfico 3, a última tarefa processada pela máquina 1 é a tarefa 11; na máquina 2 é a tarefa 12; e na máquina 3 é a tarefa 10. Sendo o *makespan* 13 unidades de tempo, considerando então, o último término das tarefas.

### 2.5.2 *Flowtime*

O *flowtime* (tempo de fluxo) é um indicador da quantidade de tarefas em processo (GUPTA e HO, 2000). Segundo Liu e Reeves (2001), o tempo de fluxo

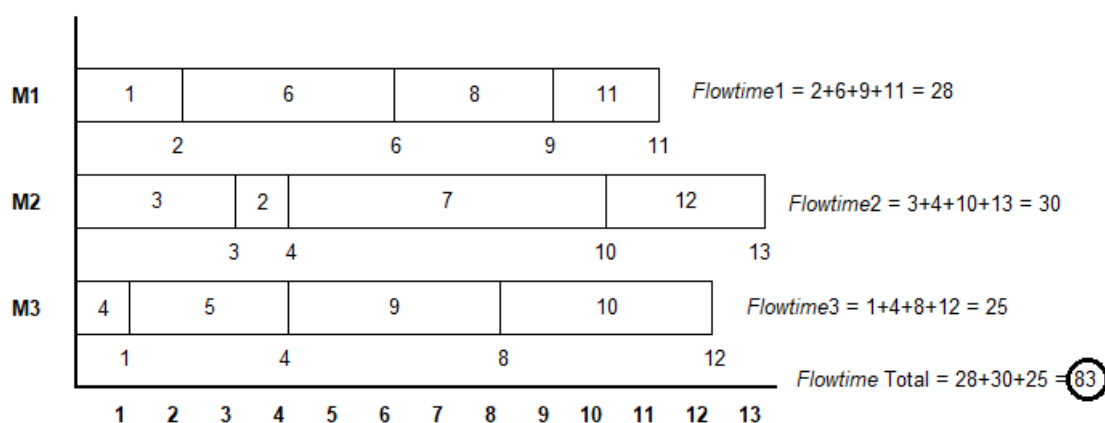


tem sido considerado um dos principais objetivos a ser considerado em ambientes de manufaturas.

As vantagens de melhorar o *flowtime* são muito benéficas em ambientes distribuídos nos quais o uso dos recursos não é balanceado e as atividades em processo aumentam devido a diversos fatores. Dessa forma, melhorar o tempo de fluxo significa minimizar o tempo das tarefas, estabilizar o uso de recursos e diminuir o estoque em processo (RAJENDRAN e ZIEGLER, 1997).

O Gráfico 4 representa o *flowtime* em máquinas paralelas em um Gráfico de Gantt.

**Gráfico 4 - Representação do *flowtime* em máquinas paralelas com três máquinas e doze tarefas**



Fonte: Autoria própria

No caso do Gráfico 4, o *flowtime* do processo é igual a 83 unidades de tempo, sendo este valor a soma dos instantes em que cada tarefa foi concluída.

### 2.5.3 Just-In-Time

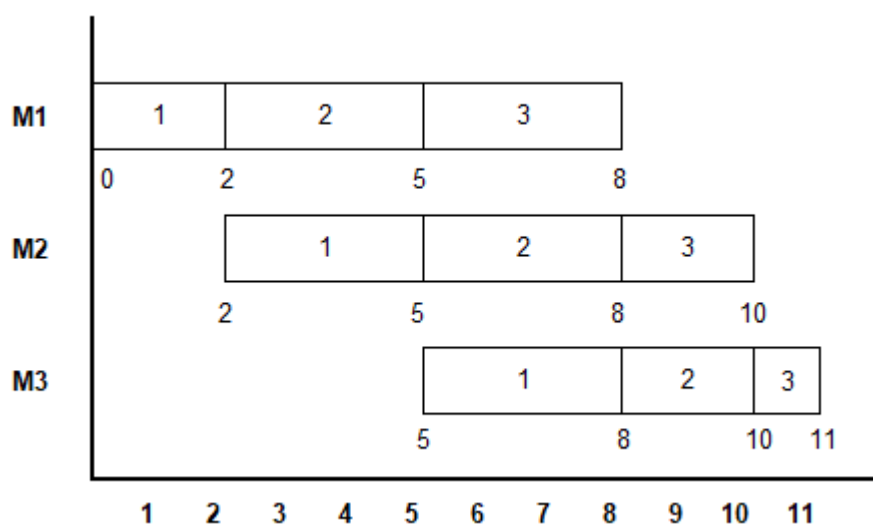
A filosofia do JIT tem a preocupação com a eliminação de erros, diminuição do *setup* (tempo de preparação), a manutenção da limpeza e organização da fábrica. Porém, na elaboração do modelo, estes fatores não são considerados. Muitos estudos teóricos utilizam a penalização pelo adiantamento da produção em sistemas de produção empurrada (GROENEVELT, 1993).

O termo JIT mesmo sendo um termo muito comum hoje, é de difícil definição. Ainda segundo Groenevelt (1993), o JIT é a tentativa de produzir algo

apenas quando é preciso, sem gerar estoques, na quantidade correta mesmo que a capacidade máxima de produção não seja atingida, e com o mínimo de gastos de recursos humanos e naturais.

O Gráfico 5 mostra o JIT no Gráfico de Gantt de um ambiente *flowshop* e que contém tarefas nomeadas como 1, 2 e 3, cujo os prazos de entrega são 8, 10 e 11, respectivamente.

**Gráfico 5– Representação de um JIT ideal com três máquinas e três tarefas**



Fonte: Adaptado de Groenevelt (1993)

No Gráfico 5, pode-se notar que a programação das atividades foi definida para serem finalizadas no prazo estabelecido.

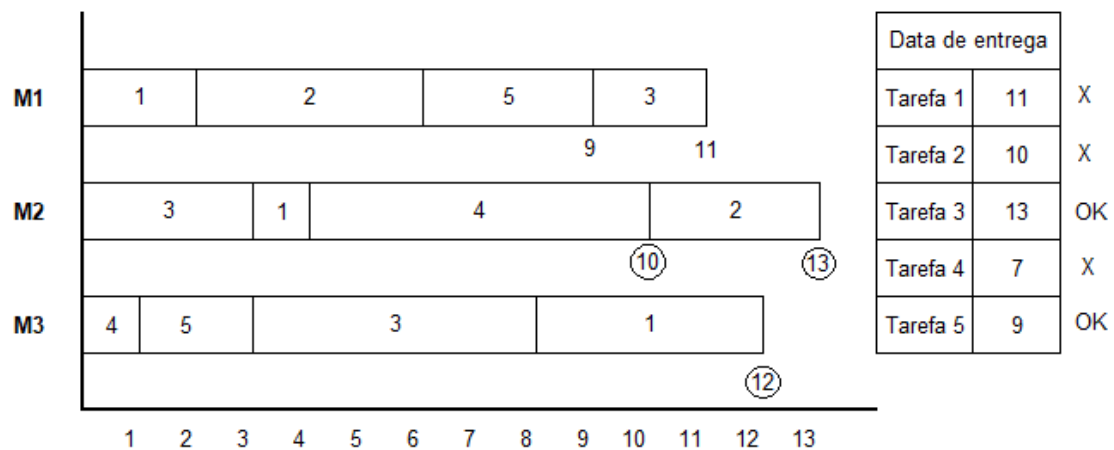
#### 2.5.4 Atraso Ponderado

O atraso de tarefas acontece quando a entrega de uma tarefa for posterior ao prazo estabelecido entre as empresas contratada e contratante.

Segundo Slack et al (2018), geralmente quando a entrega de alguma encomenda é atrasada, uma multa pode ser aplicada e esta pode ser calculada por cada unidade de atraso ou por porcentagem do valor da encomenda.

O Gráfico 6 exemplifica situações que ocorreram atrasos em sua entrega, demonstradas em Gráfico de Gantt.

Gráfico 6 - Representação de atraso das tarefas com três máquinas e cinco atividades



Fonte: Autoria própria

O Gráfico 6 mostra a distribuição de cinco tarefas nas máquinas. A Tarefa 1 era para ser entregue no tempo 11, porém foi finalizada no tempo 12; a Tarefa 2 era para ser entregue no tempo 10, porém foi entregue no tempo 13; e a Tarefa 4 era para ser entregue no tempo 7, porém foi entregue no tempo 10. As únicas tarefas que foram entregues dentro do prazo foram a Tarefa 3 e a Tarefa 5, nos tempos 11 e 9, respectivamente.

### 3 METODOLOGIA

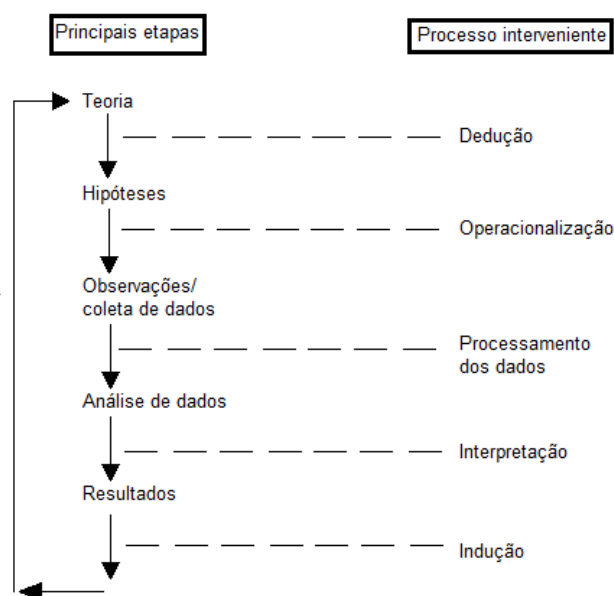
Este capítulo expõe a metodologia aplicada neste trabalho. Foi apresentada e explicada a classificação da pesquisa e foi detalhada cada etapa realizada no desenvolvimento.

#### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Segundo Miguel et al (2010), diversos autores caracterizam a abordagem quantitativa como a possibilidade de mensurar as variáveis de pesquisa, sendo essa característica a forma mais marcante de justificar o tipo de abordagem. Outra característica dessa abordagem é que o pesquisador não deve interferir nas variáveis de pesquisa, mas se for necessário a interferência, essa deve ser mínima. Essas variáveis são derivadas de alguma teoria ou oferecidas pela natureza, e devem ser estabelecidas antes da observação ou experimentação. Com isso, pode-se afirmar que este trabalho é baseado na abordagem quantitativa.

A Figura 1 apresenta a estrutura lógica da abordagem quantitativa.

**Figura 1 - Estrutura lógica da abordagem quantitativa**



Fonte: Adaptado de Miguel et al (2010)

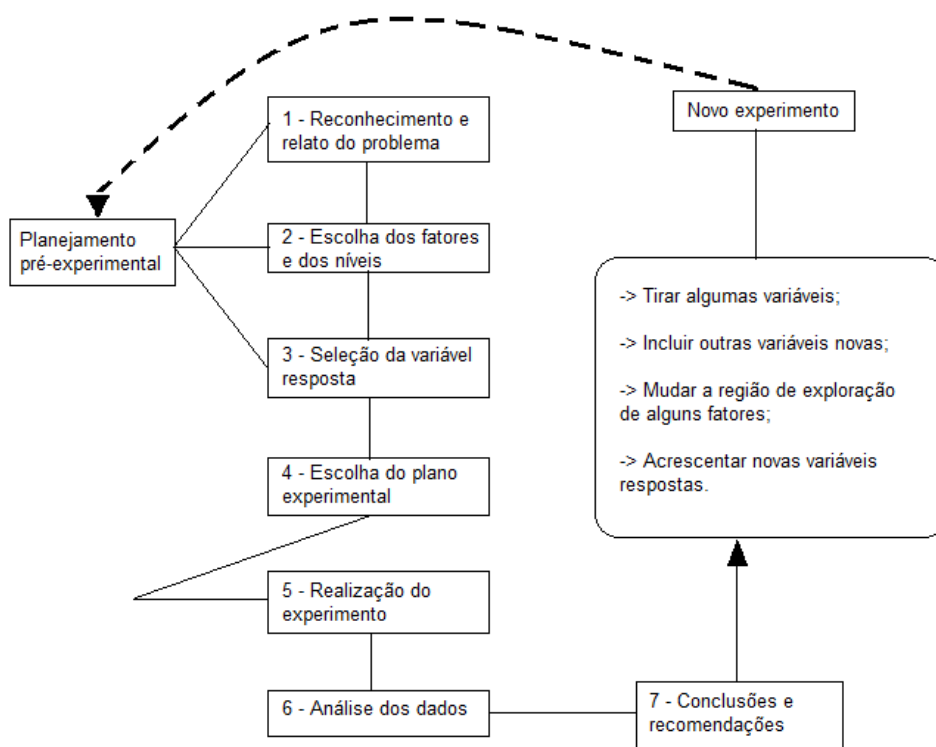
Este trabalho tem como objetivo a pesquisa empírica normativa quantitativa, pois, segundo Miguel et al (2010), esse tipo de pesquisa visa melhorar a situação corrente através do desenvolvimento de políticas, estratégias e ações. É baseado nos modelos que prescrevem uma solução para o problema, como o modelo de otimização ou programação matemática.

A natureza desta pesquisa é classificada como aplicada já que apresenta o interesse prático em buscar a solução de problemas reais mesmo com o apoio e base nos conhecimentos científicos (TURRIONI; MELLO, 2012).

Nas pesquisas observacionais, as coletas de dados qualitativos ou quantitativos não podem ter intervenção dos pesquisadores, pois são apenas observados. Já na pesquisa experimental, que é o caso deste trabalho, o pesquisador interfere um pouco no resultado da coleta de dados (MIGUEL et al, 2010).

A Figura 2 ilustra de forma prática a estrutura da pesquisa experimental.

**Figura 2 - Estrutura da pesquisa experimental**



**Fonte: Adaptado de Miguel et al (2010)**

Na pesquisa experimental esses dados podem ser obtidos por três tipos de formato: prospectivo, que obtém dados futuros; retrospectivo, que coleta

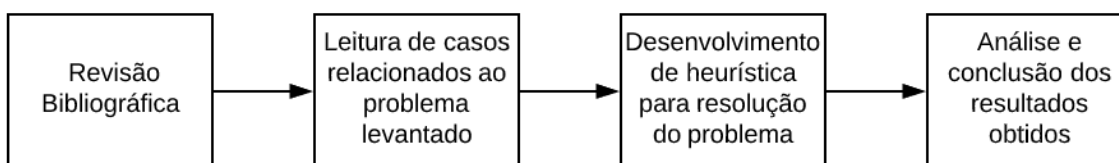
dados passados; e transversais, que são dados referentes a um período (MIGUEL et al, 2010).

### 3.2 ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO

Nesta seção foram abordadas as etapas envolvidas no desenvolvimento deste trabalho, levantando os pontos mais importantes e explicando como foram realizados. Em sequência tem-se referencial teórico, escolha dos critérios de avaliação, definição do universo, geração e tratamento de dados, implementação do método heurístico, análise dos resultados e conclusões finais.

Na Figura 3 mostra as etapas realizadas neste trabalho.

**Figura 3 - Sequência de atividades realizadas para execução deste trabalho**



**Fonte: Autoria própria**

Primeiramente foi realizado uma revisão bibliográfica para melhor entendimento do assunto abordado e demais teorias e estudos envolvidos do tema. Em seguida foram realizadas leituras de casos relacionados para que pudesse ser desenvolvida a heurística para resolver o problema escolhido. Por fim, foi feita a análise e conclusão dos resultados obtidos.

#### 3.2.1 Referencial Teórico

Este trabalho teve como base bibliográfica diversos artigos, livros e teses de diversos autores, como Arenales, Pinedo, Slack, Paladini, Tubino e Casadotto que são referências nas áreas em que atuam sejam elas PO, PCP, Programação da Produção. Além de outros autores que fizeram pesquisas e publicaram por meio de artigos cujo os temas eram relevantes e foram utilizados de alguma forma como fonte de conhecimento.

As bases de consultas utilizadas para artigos científicos foram a *Science Direct* e *Scielo*, as quais foram pesquisadas palavras chaves relacionadas a este trabalho tais como heurística, programação da produção, falha operacional e multa por atraso. Além das palavras chaves, foi adicionado outro critério quanto a data de publicação do artigo o qual deveria ter até 10 anos após a sua publicação para que as informações ali contidas pudessem ser as mais atuais possíveis.

Livros, teses e artigos que não obedecem ao critério do ano de publicação, foram utilizados, principalmente, para o melhor entendimento de definições dadas nestas referências, sendo encontradas justamente nos artigos recentes utilizados.

Outro critério utilizado foi a Classificação Qualis dos periódicos CAPES, obtidos através da Plataforma Sucupira. Nesse quesito, os periódicos priorizados foram com a classificação A1, A2, B1, B2 e B3 na categoria “Engenharias III”.

### 3.2.2 Escolha dos Critérios de Avaliação

Existem diversas teorias para ordenação e alocação de tarefas na literatura para construção de heurísticas e cada teoria favorece alguma função objetivo específica. Neste trabalho foi aplicado uma heurística de melhoria, baseada na ordenação original gerada pela programação. Cada atividade teve a mesma probabilidade de falha durante a execução, e quando ocorria alguma falha na atividade, era acrescido um valor no seu tempo de processamento. Assim, as previsões das datas de entrega dessa e das atividades seguintes eram adiadas. Com isso foram gerados atrasos de acordo com o prazo de entrega estabelecido inicialmente para cada atividade.

Foi calculada a multa por atraso de cada atividade e a que teve maior multa, foi alocada para ser a próxima tarefa a ser executada depois da falha. As atividades anteriores a esta, foram deslocadas para frente até a posição da maior multa encontrada ser ocupada. Essa nova ordenação era mantida apenas se a multa total fosse menor do que a multa total da ordenação anterior. Feito isso, foi buscada a próxima maior multa para a próxima posição e esse processo se repetiu até a última posição.

Todas essas etapas eram repetidas caso tenha alguma troca na ordenação, e essa lógica foi mantida para toda atividade que falhar. No fim, foi comparado a multa total obtida com a multa total da ordenação inicial.

### 3.2.3 Definição do Universo

O problema contém uma única máquina, a qual foi designada “*max*” tarefas a serem completadas até um prazo de entrega “*Pe*”, cada qual com um tempo de processamento “*Tp*”. Cada atividade teve uma possibilidade de falha, e quando isso acontecia, o tempo de processamento dessa atividade era aumentado, podendo atrasar a sua entrega e das próximas atividades. Esse atraso causou uma multa “*Mi*” que foi cobrada no final do período.

### 3.2.4 Geração e Tratamento de Dados

A geração de dados foi realizada através de linguagem C com restrições estabelecidas pelos autores. Foram criados os tempos de processamento para as tarefas que foram realizadas em uma única máquina. Cada nova tarefa adicionada ao planejamento teve como prazo de entrega no mínimo igual ao somatório dos tempos de processamento das atividades anteriores, podendo ser acrescido de 100% até 150% do seu próprio tempo de processamento.

Esta mesma linguagem foi utilizada para gerar o valor da multa de cada tarefa por unidade de tempo, sendo ela aplicada caso a finalização da mesma fosse posterior ao seu prazo de entrega.

Para simular um ambiente em que ocorram falhas, ao “executar” a próxima atividade da programação, um comando realizava o sorteio de um número. Dependendo do seu valor, o tempo de processamento daquela atividade não é alterado, pois foi concluída sem falhas na sua execução. Caso contrário, era acrescentado um valor aleatório em seu tempo de processamento podendo gerar atraso dessa e das próximas atividades.

Esse valor aleatório em seu tempo de processamento representava o tempo que demoraria para solucionar a falha ocorrida pra a execução dessa atividade.



### 3.2.5 Implementação das Heurísticas

Foi desenvolvida uma heurística de melhoria para resolução do problema, a qual buscava uma reordenação das atividades após a ocorrência de falhas na linha de produção. Sabendo que as falhas que ocorrem no processo podem gerar atrasos na entrega das tarefas, a heurística desenvolvida buscou uma ordenação que poderia gerar menor custo. Esta programação foi desenvolvida em linguagem C e aplicada no *software* Dev C++, versão 5.11.

### 3.2.6 Análises dos Resultados

A análise do desempenho das heurísticas foi através da comparação das multas entre a programação inicial e a reordenação obtida. Também foi analisado para quais dimensões a heurística trouxe melhores resultados.

## 4 DESENVOLVIMENTO

A heurística deste trabalho foi desenvolvida na linguagem de programação C, e implementada no *software* DevC++, versão 5.11. A execução foi realizada em um *notebook* Semp Toshiba, com processador Intel® Core™ i5 – 3210M, com memória RAM de 4GB e sistema operacional de 64 bits.

Foram mantidas as mesmas condições de uso durante as execuções de cada grupo de atividades e suas respectivas instâncias.

Para a aplicação da heurística desenvolvida foram criados parâmetros a partir da função SRAND durante a própria execução do programa. Essa função faz com que seja gerados números aleatórios dentro de um intervalo de valores determinado pelo programador. A lista dos parâmetros simulados bem como seus valores mínimos e máximos são:

Sendo para todas as equações:

$i$  = instância;

$a$  = atividade;

$máx$  = quantidade máxima de atividades;

$Tp_a$  – Tempo de processamento da atividade  $a$ . Os tempos variam entre 5 até 50 unidades de tempo;

$Pe_a$  – Prazo de entrega da atividade  $a$ . É definido a partir do somatório dos  $Tp_a$  que precedem a tarefa, mais o seu próprio tempo de processamento. Podendo ainda ser acrescentado um valor aleatório de até 50% do tempo de processamento dessa atividade no seu prazo de entrega.

$Ma_a$  – Multa da atividade  $a$ . Este parâmetro é o valor da multa a ser paga por unidade de tempo de atraso da tarefa. Variam de 1 até 10 e é definido de modo aleatório.

Estes são os principais parâmetros simulados, porém ainda existem algumas informações que foram relevantes, e foram calculados a partir dos dados simulados.

$TDecorrido_i$  – Após gerar todos os dados anteriores, foi iniciada a contagem do tempo de execução dessa instância ( $Tinicio_i$ ) para possibilitar a análise de viabilidade de tempo de execução dessa heurística de acordo com a complexidade do problema. O fim da contagem desse tempo ( $Tfim_i$ ) foi ao final

da execução da última tarefa do sequenciamento. Cada vez que uma nova instância foi gerada, era registrado o tempo que esta demorou para ser finalizada. Sendo:

$$TDecorrido_i = Tfim_i - Tinicio_i$$

$Entrega_a$  – É definida uma previsão de quando a atividade  $i$  será entregue, sendo ela a soma dos tempos de processamento da sequência das atividades realizadas até ela.

$$Entrega_a = \sum_{a=1}^{a=máx} Tp_a$$

$Atraso_a$  – Ocorre quando a  $Entrega_a$  é realizada depois do  $Pe_a$  da atividade. Quando a atividade é entregue dentro do  $Pe_a$ , o valor de  $Atraso_a$  é nulo. Sendo:

$$Atraso_a = \text{máximo} \{0; Entrega_a - Pe_a\}$$

$Mi_a$  – é a multa individual que resulta da multiplicação da  $Ma_a$  pelo  $Atraso_a$ . Sendo:

$$Mi_a = Atraso_a \times Ma_a$$

$Multa Total$  – é o somatório das multas individuais de toda a sequência de tarefas.

$$Multa Total = \sum_{a=1}^{a=máx} Mi_a$$

O código desenvolvido considera que o sequenciamento de atividades já está definido inicialmente com o método FIFO, e por isso não foi gerada a multa pelo atraso das atividades. Isso se deve, pois, foi considerado que a empresa não se comprometeu com um prazo de entrega menor do que o tempo de processamento dessa atividade e também que existem outras tarefas para serem processadas. Podendo ainda ter uma folga de até 50% a mais do seu tempo de processamento no seu prazo de entrega.

Seguindo esse pensamento, o programa simulou a execução de cada atividade como se fosse em tempo real. Para que a heurística de melhoria fosse

aplicada era necessário que acontecesse falhas que pudessem gerar atraso na entrega das atividades.

A probabilidade de falha considerada foi de 20%, valor que gerou ao menos uma falha na execução das instâncias simuladas, possibilitando a utilização da heurística desenvolvida neste trabalho, que buscou uma nova ordenação a partir da próxima atividade que ocorreu a falha.

Quando ocorria essa falha, foi acrescentado um valor aleatório de 10 a 25 unidades de tempo em seu tempo de processamento para simular o tempo que demorou a solucionar a falha e darem continuidade a programação. Com isso o valor dos tempos de previsão da entrega de cada atividade a partir da falha era alterado, podendo, ou não, gerar multa nas atividades que ainda precisavam ser processadas.

Ao acontecer a falha, era acionada a heurística para sugerir um novo sequenciamento das atividades para que se minimize a multa total a ser paga. Essa heurística buscou a melhoria da multa total ao realizar trocas efetivas na programação. Entende-se por troca efetiva aquela que proporcionou um valor de multa total menor do que a ordenação anterior.

A heurística teve como critério de priorização a maior multa encontrada que foi gerada após a ocorrência da falha. Ela teve como objetivo analisar e definir a posição em que as próximas atividades seriam executadas até o final da produção.

Sendo assim, quando a falha ocorreu na atividade a qual ocupa uma posição  $p$ , o tempo de processamento dela foi aumentado, e por conta disso, a sua previsão de entrega e das atividades da sequência foram alteradas. A heurística buscou a atividade que ocuparia a posição  $p+1$ . Existiam dois candidatos a preencher essa posição. O primeiro era a atividade da ordenação atual, ou seja, a que foi definida para ser executada. O segundo, era a atividade ( $t$ ) com a maior multa gerada encontrada a partir da falha.

Ao identificar uma atividade  $t$  em uma posição  $m$ , o programa alocou  $t$  até a posição  $p+1$  e “empurrou” as demais atividades até alcançarem a posição  $m$ . Após essa alteração, foi recalculada a previsão da multa a ser paga, caso esse valor fosse maior que a ordenação que estava sendo executada, a sugestão era descartada e quem assumiria  $p+1$  era o primeiro candidato. Caso esse valor fosse menor, a ordenação sugerida se tornaria a programação a ser

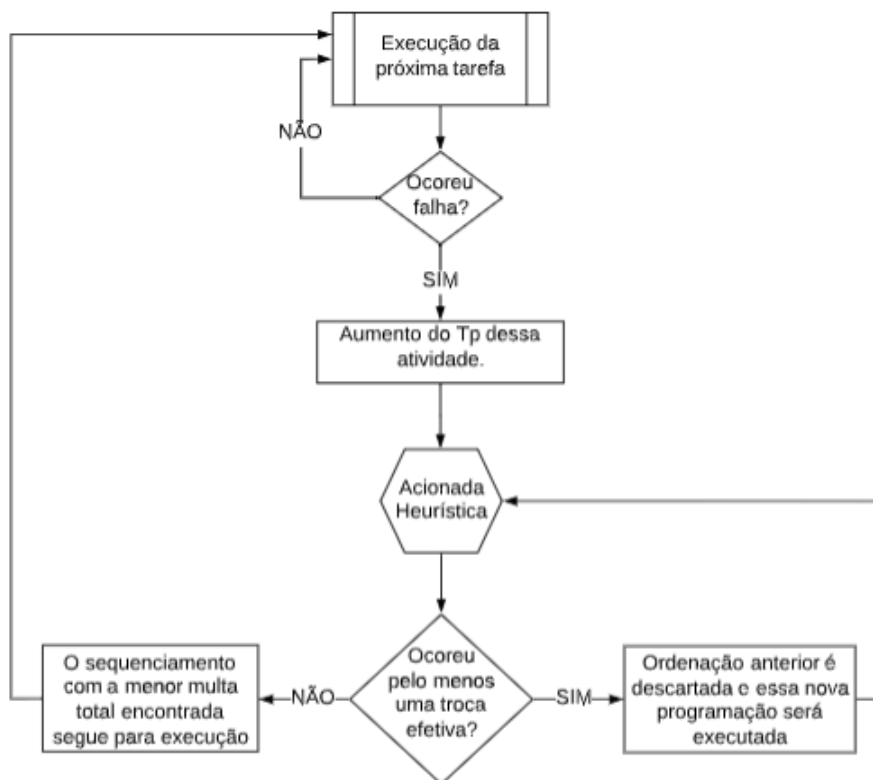
executada. Definida a atividade para ocupar a posição  $p+1$ , a heurística buscou a atividade para a posição  $p+n$  ( $n = 2,3...máx$ ).

O procedimento foi repetido a partir de  $p+1$  até que não tivesse ocorrido mais nenhuma troca efetiva. Isso fez com que a nova ordenação sugerida fosse uma boa ordenação para o critério de otimização adotado.

Saindo da heurística, o programa voltava a executar as atividades (a partir de  $p+1$ ) e com a probabilidade de falha. Caso uma falha voltasse a ocorrer, o procedimento se repetiria para definir o melhor sequenciamento, até que a linha de produção fosse concluída.

A Figura 4 ilustra as etapas que o programa segue:

**Figura 4 - Sequência das etapas seguidas na programação**



**Fonte: Autoria própria**

A fim de tornar o método heurístico mais didático, foi realizado um exemplo detalhando o passo a passo das atividades que o programa realizou. O Quadro 2 apresenta os valores obtidos na compilação do código desenvolvido para 1 instância com 5 atividades.

O critério de priorização é a comparação da multa individual ( $Mi_a$ ) de cada atividade  $a$ . Sendo esse valor a multiplicação da multa da atividade ( $Ma_a$ ) pelo seu  $Atraso_a$ .

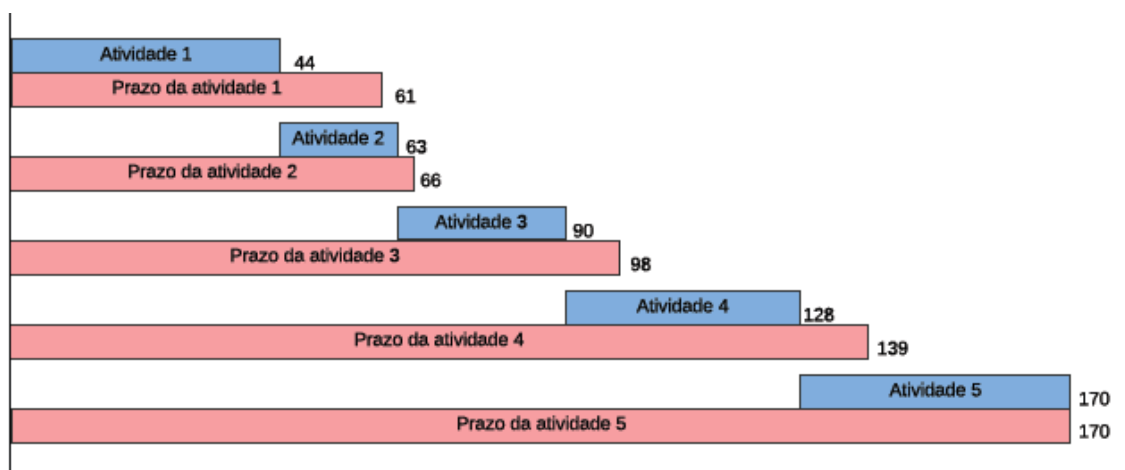
**Quadro 2 – Dados do exemplo e ordenação inicial com cinco atividades**

Posição	Atividade	Tempo de processamento ( $Tp$ )	Prazo de entrega ( $Pe$ )	Multa por atividade ( $Ma$ )
1	1	44	61	7
2	2	19	66	2
3	3	27	98	1
4	4	38	139	2
5	5	42	170	9

Fonte: Autoria própria

O Gráfico 7 é a representação do Quadro 2 no Gráfico de Gantt, com os blocos azuis representando os tempos de processamento com início e fim, e os blocos em rosa representando os prazos de entrega de cada atividade.

**Gráfico 7 - Gráfico de Gantt da solução inicial referente ao Quadro 2**



Fonte: Autoria própria

Dado início ao programa, será executada a sequência original. Neste exemplo, a falha ocorreu na atividade da posição 1. Sendo assim, o Quadro 3 apresenta os impactos causados.

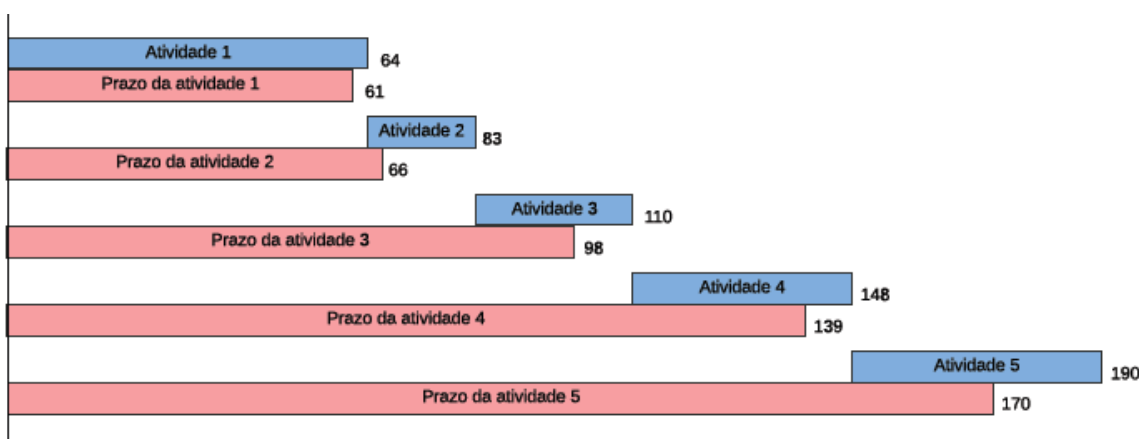
Quadro 3 - Novos valores devido à falha ocorrida na Atividade 1

Posição	Atividade	$T_p$	$P_e$	$Ma$	Previsão de entrega (Entrega)	Atraso	Multa individual (Mi)
1	1	64	61	7	64	3	21
2	2	19	66	2	83	17	34
3	3	27	98	1	110	12	12
4	4	38	139	2	148	9	18
5	5	42	170	9	190	20	180
<b>Total</b>							<b>265</b>

Fonte: Autoria própria

O Gráfico 8 é a representação do Quadro 3 no Gráfico de Gantt, com o acréscimo de 20 unidades de tempo no tempo de processamento na Atividade 1.

Gráfico 8 - Gráfico de Gantt referente ao Quadro 3



Fonte: Autoria própria

Por conta dessa falha, o  $T_p$  da Atividade 1 passou de 44 para 64 unidades de tempo gerando um atraso na entrega de todas as atividades. A previsão de multa gerada por esse atraso foi de 265. Aplicando a heurística de melhoria, o programa irá buscar um novo sequenciamento após a atividade em que ocorreu a falha, seguindo o critério de priorização da maior previsão de multa individual que foi gerada ao longo da ordenação.

Neste caso, a Atividade 5 será realocada para a posição 2 da sequência como mostra o Quadro 4, e serão comparadas as previsões das multas totais para estabelecer qual a melhor atividade para ser executada após a falha.

**Quadro 4 - Apresentação dos valores sobre a primeira sugestão de troca das posições das atividades**

Posição	Atividade	<i>Tp</i>	<i>Pe</i>	<i>Ma</i>	<i>Entrega</i>	<i>Atraso</i>	<i>Mi</i>
1	1	64	61	7	64	3	21
2	5	42	170	9	106	0	0
3	2	19	66	2	125	59	118
4	3	27	98	1	152	54	54
5	4	38	139	2	190	51	102
<b>Total</b>							<b>295</b>

Fonte: Autoria própria

A previsão da multa a ser paga foi de 295, sendo maior do que a multa da sequência anterior. Então, a Atividade 2 permanece na posição 2 e a Atividade 5 será testada na próxima posição, visto que essa atividade continua tendo a maior multa entre as demais atividades.

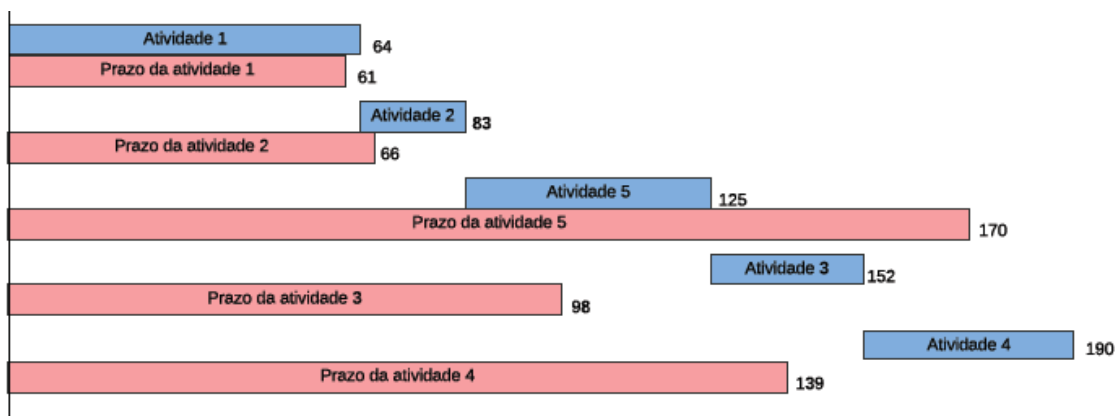
**Quadro 5 – Apresentação dos valores com a troca das posições, colocando a Atividade 5 na posição 3**

Posição	Atividade	<i>Tp</i>	<i>Pe</i>	<i>Ma</i>	<i>Entrega</i>	<i>Atraso</i>	<i>Mi</i>
1	1	64	61	7	64	3	21
2	2	19	66	2	83	17	34
3	5	42	170	9	125	0	0
4	3	27	98	1	152	54	54
5	4	<b>38</b>	<b>139</b>	<b>2</b>	<b>190</b>	<b>51</b>	<b>102</b>
<b>Total</b>							<b>211</b>

Fonte: Autoria própria

O Gráfico 9 representa a nova ordenação das atividades através do Gráfico de Gantt.

**Gráfico 9 - Gráfico de Gantt com os dados após a primeira troca realizada**



Fonte: Autoria própria



Para a Atividade 5 na posição 3, a previsão da multa total foi de 211 e por conta disso ela foi fixada nessa posição. Ainda faltam estabelecer as atividades que serão executadas nas posições 4 e 5. Entre as Atividades 3 e 4, a maior *Mi* é da Atividade 4, sendo assim será analisado o impacto dela como próxima atividade a ser executada.

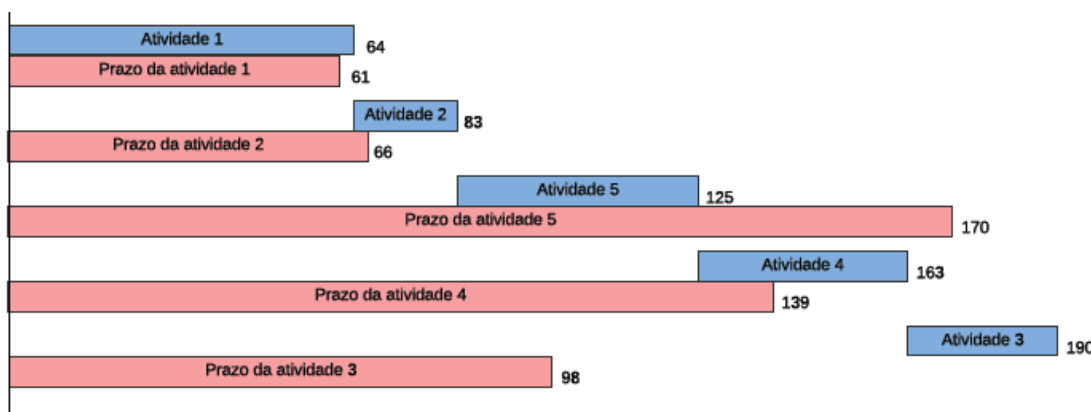
**Quadro 6 - Apresentação dos valores com a troca das posições, colocando a Atividade 4 na posição 4**

Posição	Atividade	<i>Tp</i>	<i>Pe</i>	<i>Ma</i>	<i>Entrega</i>	<i>Atraso</i>	<i>Mi</i>
1	1	64	61	7	64	3	21
2	2	19	66	2	83	17	34
3	5	42	170	9	125	0	0
4	4	38	139	2	163	24	48
5	3	27	98	1	190	92	92
<b>Total</b>							<b>195</b>

Fonte: Autoria própria

O Gráfico 10 representa a troca da ordenação das atividades, posicionando a Atividade 4 na ordenação 4, através do Gráfico de Gantt.

**Gráfico 10 - Gráfico de Gantt com os dados após a segunda troca realizada**



Fonte: Autoria própria

Essa nova ordenação sugerida está com uma previsão de multa de 195, sendo assim, a sequência após a primeira iteração da heurística ficou sendo as atividades 1, 2, 5, 4 e 3.

Como houve pelo menos 1 troca que gerou um resultado melhor, ou seja, foi alterada a ordenação das atividades, antes de dar continuidade a execução de 2, 5, 4 e 3, será aplicada a heurística novamente, buscando a próxima tarefa

a ser executada após a falha. Nessa ordenação, a Atividade 3 foi identificada como a maior multa individual. Sendo assim será analisada o impacto dela na posição 2.

**Quadro 7 - Apresentação dos valores com a troca das posições, colocando a Atividade 3 na posição 2**

<b>Posição</b>	<b>Atividade</b>	<b><i>Tp</i></b>	<b><i>Pe</i></b>	<b><i>Ma</i></b>	<b><i>Entrega</i></b>	<b><i>Atraso</i></b>	<b><i>Mi</i></b>
1	1	64	61	7	64	3	21
2	3	27	98	1	91	0	0
3	2	19	66	2	110	44	88
4	5	42	170	9	152	0	0
5	4	38	139	2	190	51	102
<b>Total</b>							<b>211</b>

Fonte: Autoria própria

A previsão da multa nessa sequência é de 211, sendo maior que 195. Por conta disso, a Atividade 2 permanece em sua posição anterior e a atividade 3 será realocada para a próxima posição por continuar sendo a maior multa entre as atividades restantes.

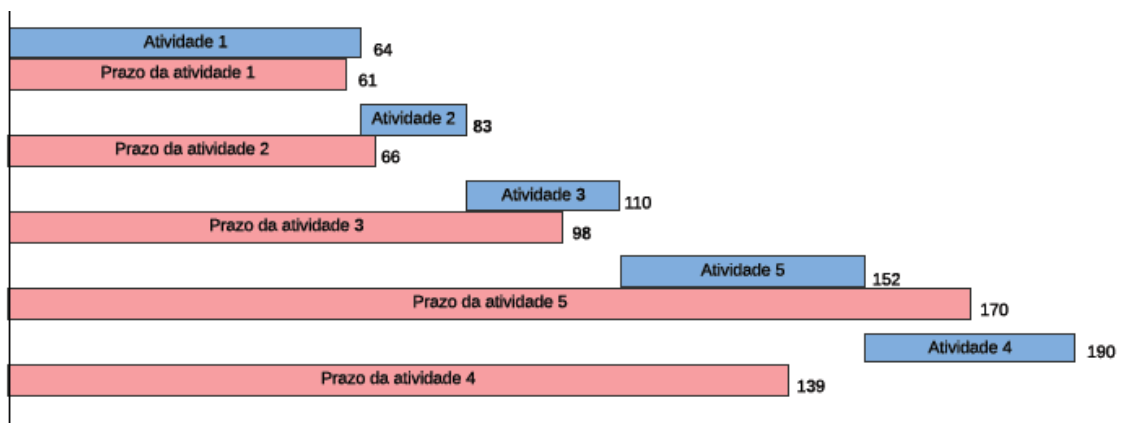
**Quadro 8 - Apresentação dos valores com a troca das posições, colocando a Atividade 3 na posição 3**

<b>Posição</b>	<b>Atividade</b>	<b><i>Tp</i></b>	<b><i>Pe</i></b>	<b><i>Ma</i></b>	<b><i>Entrega</i></b>	<b><i>Atraso</i></b>	<b><i>Mi</i></b>
1	1	64	61	7	64	3	21
2	2	19	66	2	83	17	34
3	3	27	98	1	110	12	12
4	5	42	170	9	152	0	0
5	4	38	139	2	190	51	102
<b>Total</b>							<b>169</b>

Fonte: Autoria própria

O Gráfico 11 representa a nova ordenação apresentada no Quadro 8, através do Gráfico de Gantt.

Gráfico 11 - Gráfico de Gantt com a ordenação apresentada no Quadro 8



Fonte: Autoria própria

Nessa sequência, a previsão da multa total foi de 169, sendo melhor do que a sequência final após a primeira iteração.

Entre as atividades restantes, a maior multa é da Atividade 4, que já foi testada na posição 4 nessa mesma ordenação das demais atividades, como mostrou o Quadro 3. Nesse sequenciamento a previsão total da multa foi de 265, um resultado pior do que a anterior. Por isso, 1, 2, 3, 5 e 4 será a sequência final após essa segunda iteração.

Como houve pelo menos 1 troca que alterou a programação, a heurística será aplicada novamente para garantir que esse sequenciamento foi o melhor encontrado a partir do critério de priorização utilizado.

Segundo o Quadro 8, a maior multa individual da ordenação é a Atividade 4, sendo assim, ela será testada na posição 2.

Quadro 9 - Apresentação dos valores com a troca das posições, colocando a Atividade 4 na posição 2

Posição	Atividade	<i>T<sub>p</sub></i>	<i>P<sub>e</sub></i>	<i>M<sub>a</sub></i>	<i>Entrega</i>	<i>Atraso</i>	<i>M<sub>i</sub></i>
1	1	64	61	7	64	3	21
2	4	38	139	2	102	0	0
3	2	19	66	2	121	55	110
4	3	27	98	1	148	50	50
5	5	42	170	9	190	20	180
<b>Total</b>							<b>361</b>

Fonte: Autoria própria

A previsão da multa total para esse sequenciamento é de 361, não apresentando um resultado melhor do o sequenciamento anterior. Por esse

motivo, a Atividade 4 (que possui a maior multa individual) será testada nas próximas posições para verificar se apresentará uma menor previsão de multa total.

**Quadro 10 - Apresentação dos valores com a troca das posições, colocando a Atividade 4 na posição 3**

<b>Posição</b>	<b>Atividade</b>	<b><i>Tp</i></b>	<b><i>Pe</i></b>	<b><i>Ma</i></b>	<b><i>Entrega</i></b>	<b><i>Atraso</i></b>	<b><i>Mi</i></b>
1	1	64	61	7	64	3	21
2	2	19	66	2	83	17	34
3	4	38	139	2	121	0	0
4	3	27	98	1	148	50	50
5	5	42	170	9	190	20	180
<b>Total</b>							<b>285</b>

**Fonte: Autoria própria**

Considerando a Atividade 4 na posição 3, a multa total prevista foi de 285, não sendo melhor do que o resultado de 169 encontrado em ordenações anteriores. Analisando esta atividade na posição 4 também não foi obtido um melhor resultado como já apresentado no Quadro 3.

Após executada a segunda iteração, a sequência de atividades ficou definida como 1, 2, 3, 5 e 4 já que na terceira não houve trocas entre as atividades.

Como não ocorreu mais nenhuma falha ao longo da execução das atividades planejadas, a multa total gerada pelo atraso da Atividade 1 foi de 169 com a aplicação da heurística de melhoria. Isso resultou numa economia de aproximadamente 36% em relação à multa caso a ordenação das atividades não sofresse alterações.

## 5 RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados obtidos com a implementação da heurística de melhoria detalhada no Capítulo 4, assim como a análise dos mesmos.

### 5.1 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

A heurística foi executada para 100 instâncias de 20, 50, 100, 200, 300, 400, 500 e 1000 atividades. Para cada instância de cada variação de atividade foi inserida uma semente na função “SRAND”, garantindo que seja possível replicar alguma instância desejada para análises mais detalhadas.

O Quadro 11 mostra quais sementes foram colocadas para cada instância.

**Quadro 11 - Sementes inseridas para cada instância variando o número de atividades**

<b>Número de atividades</b>	<b>Semente</b>
20	01 - 100
50	101 - 200
100	201 - 300
200	301 - 400
300	401 - 500
400	501 - 600
500	601 - 700
1000	701 - 800

**Fonte: Autoria própria**

Para as instâncias de 20 atividades foram atribuídas as sementes de 1 a 100, para as instâncias de 50 atividades as sementes foram de 101 a 200, e assim sucessivamente.

Após compilar o programa, foram obtidos os resultados das 100 instâncias das 20, 50, 100, 200, 300, 400, 500 e 1000 atividades. Foram salvos o número da instância, o tempo de processamento da execução, o número de vezes que ocorreram as falhas, quantas trocas foram realizadas, a multa que

seria paga sem a reordenação, a multa que seria paga com a ordenação sugerida com a heurística de melhoria e por fim, a economia obtida.

Todos os resultados obtidos foram salvos, através linguagem C no programa DevC++, versão 5.11, num arquivo de formato “.txt”. Os dados desse arquivo foram exportados para o Excel, a fim de facilitar o levantamento de informações adicionais, geração de gráficos e a análise dos resultados.

Todos os resultados são encontrados no Apêndice A deste trabalho.

## 5.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

As informações apresentadas nesta seção foram tratadas no Excel a partir dos dados salvos no arquivo de formato “.txt”. As informações obtidas foram o tempo médio de execução para cada grupo de atividades, a porcentagem de melhoria de cada grupo (mínima, máxima e média) e a porcentagem de instâncias que obtiveram melhorias.

Todos estes resultados estão resumidos no Quadro 12.

**Quadro 12 - Principais informações dos resultados obtidos neste trabalho**

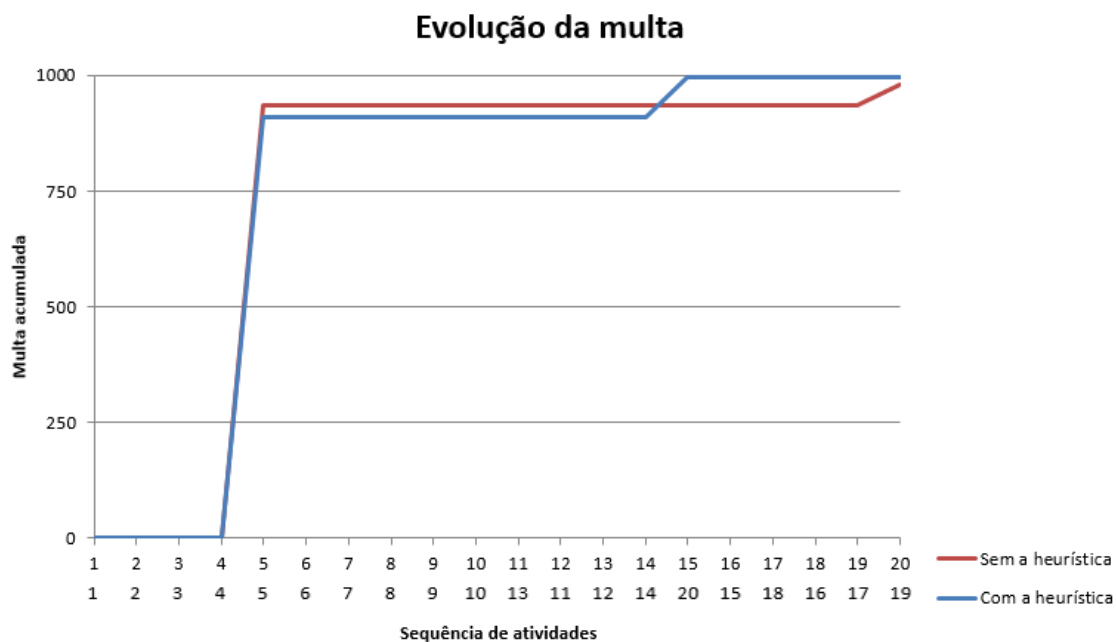
<b>Nº de atividades</b>	<b>Tempo de execução médio (miliseg.)</b>	<b>Melhoria mínima</b>	<b>Melhoria máxima</b>	<b>Melhoria média</b>	<b>Instâncias melhoradas</b>
20	0,07	-1,6%	52,5%	20%	94%
50	1,01	0,2%	43,5%	20%	100%
100	7,75	0,8%	47,8%	21%	100%
200	65,01	1,1%	38,3%	19%	100%
300	193,39	0,4%	35,7%	18%	100%
400	451,45	1,2%	35,5%	17%	100%
500	831,89	0,2%	33,4%	17%	100%
1000	6362,85	3,2%	24,2%	14%	100%

**Fonte: Autoria própria**

Em todas as instâncias, o único resultado negativo ocorreu na instância 77 com 20 atividades, com uma piora de 1,6% comparado à multa acumulada da sequência sem a aplicação da heurística de melhoria. Este resultado foi analisado e será explicado o motivo pelo qual ele aconteceu, podendo ocorrer

em situações semelhantes. A evolução desta multa acumulada é mostrada no Gráfico 12.

**Gráfico 12 - Evolução da multa acumulada da instância 77 de 20 atividades**



**Fonte: Autoria própria**

No Gráfico 12, a linha em vermelho representa o acúmulo da multa da ordenação das atividades sem a heurística aplicada e a linha em azul representa o mesmo, mas com a aplicação da heurística de melhoria.

As retas horizontais indicam que as atividades foram executadas sem ocorrências de falhas, e conseqüentemente não tiveram alteração da multa acumulada. Neste caso as falhas ocorreram durante as atividades 5 e 20 as quais ocupam as posições 5 e 15, respectivamente, na ordenação com a heurística de melhoria.

No sequenciamento com a heurística, pode-se afirmar que se não tivesse ocorrido mais nenhuma falha após a primeira, a multa acumulada com a melhoria seria melhor do que sem a melhoria. Porém, como ocorreu a segunda falha, essa impactou na multa acumulada final, uma vez que não podemos alterar as atividades já executadas. Por isso, com a análise a partir da segunda falha, não foi possível encontrar uma multa menor do que a ordenação sem a melhoria.

**Quadro 13 - Evolução da multa acumulada com e sem a heurística aplicada na instância 77 de 20 atividades**

Posição	Sem a heurística	Com a heurística
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	<b>936</b>	<b>908</b>
6	936	908
7	936	908
8	936	908
9	936	908
10	936	908
11	936	908
12	936	908
13	936	908
14	936	908
15	936	<b>996</b>
16	936	996
17	936	996
18	936	996
19	936	996
20	<b>980</b>	996

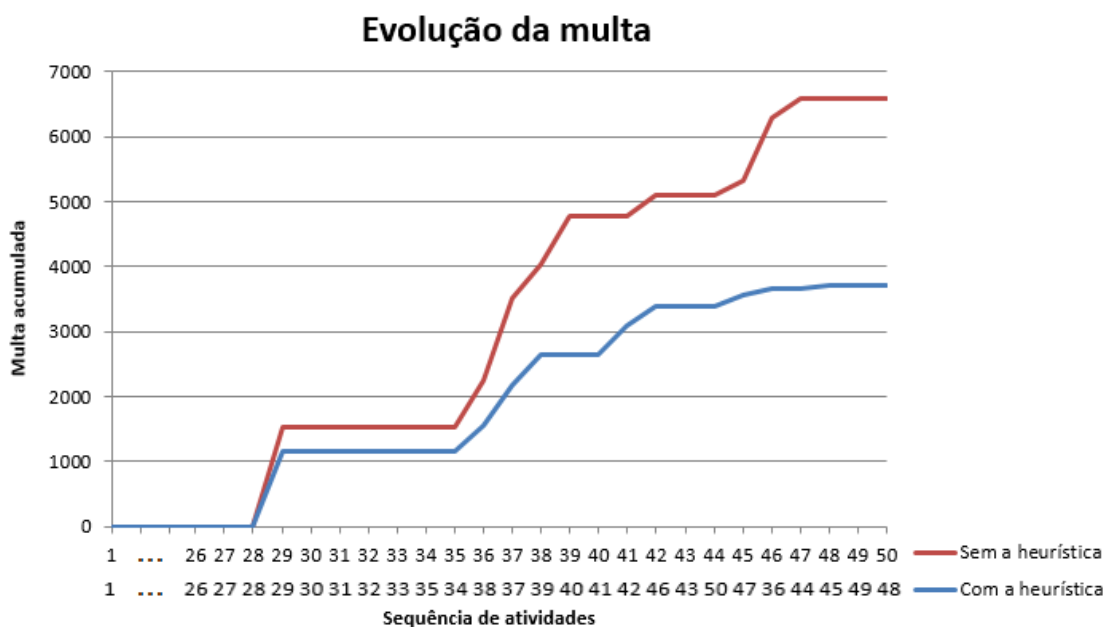
Fonte: Autoria própria

O Quadro 13 mostra a multa acumulada durante a execução da ordenação das atividades, se mantendo constante quando não ocorre falhas, e variando nas atividades em que ocorreram falhas.

O Gráfico 13 é a evolução da multa na instância 9 de 50 atividades. Pode-se observar a evolução da multa acumulada em um cenário que a heurística de melhoria pode gerar uma economia de 44%. Essa foi a maior economia encontrada dentre as 100 instâncias de 50 atividades simuladas.



Gráfico 13 - Evolução da multa acumulada da instância 9 de 50 atividades



Fonte: Autoria própria

Como não houve falhas até a execução da atividade 28, o Gráfico 13 foi adaptado para melhor visualização da evolução das multas acumuladas.

Assim como foi explicado no Gráfico 12, a linha vermelha representa a multa acumulada sem a execução da melhoria e a linha azul a evolução com a execução da heurística melhoria desenvolvida neste trabalho.

Esse exemplo foi apresentado com o intuito de mostrar como a multa acumulada se comporta com o passar das ocorrências das falhas.

Quadro 14 - Evolução da multa acumulada da instância 9 de 50 atividades

Posição	Sem a heurística	Com a heurística
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	0	0
8	0	0
9	0	0

Quadro 154 - Evolução da multa acumulada da instância 9 de 50 atividades

Posição	Sem a heurística	Com a heurística
10	0	0
11	0	0
12	0	0
13	0	0
14	0	0
15	0	0
16	0	0
17	0	0
18	0	0
19	0	0
20	0	0
21	0	0
22	0	0
23	0	0
24	0	0
25	0	0
26	0	0
27	0	0
28	0	0
29	<b>1534</b>	<b>1165</b>
30	1534	1165
31	1534	1165
32	1534	1165
33	1534	1165
34	1534	1165
35	1534	1165
36	<b>2242</b>	<b>1556</b>
37	<b>3522</b>	<b>2183</b>
38	<b>4022</b>	<b>2643</b>
39	<b>4781</b>	2643
40	4781	2643
41	4781	<b>3090</b>
42	<b>5096</b>	<b>3385</b>
43	5096	3385
44	5096	3385
45	<b>5320</b>	<b>3553</b>
46	<b>6295</b>	<b>3658</b>
47	<b>6594</b>	3658
48	6594	<b>3723</b>
49	6594	3723
50	6594	3723

Fonte: Autoria própria

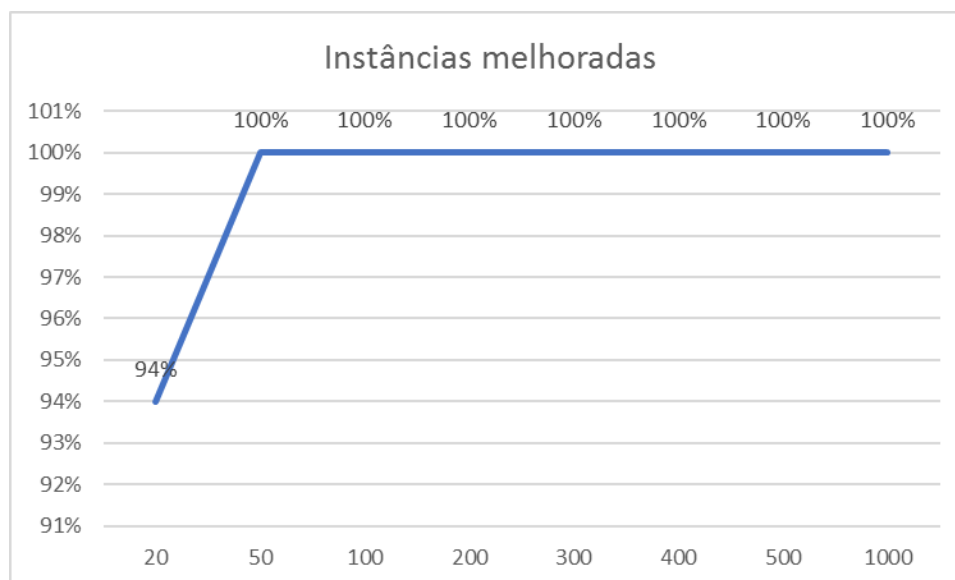
Com o Quadro 14 pode-se notar que houve falha, pois houve o aumento da multa acumulada nas atividades 29, 36, 37, 38, 39, 42, 45, 46 e 47. Para melhor entendimento, é importante lembrar que a ordenação sem a heurística tem as atividades correspondentes a posição, sendo a atividade 1 executada na posição 1, a atividade 2 na posição 2 e assim por diante.

As alterações do valor da multa acumulada podem não ocorrer num mesmo momento, isso porque as ordenações são diferentes entre si, porém as falhas acontecem nas mesmas atividades.

Como a falha ocorre na atividade (e não na posição da ordenação), a multa acumulada não altera, necessariamente, na mesma linha. Isso ocorre porque a ordenação das atividades sem a heurística e com a heurística são diferentes.

O Gráfico 14 representa a porcentagem de instâncias melhoradas em cada grupo de atividades.

**Gráfico 14 - Porcentagem de instâncias melhoradas de cada grupo de atividades**



**Fonte: Autoria própria**

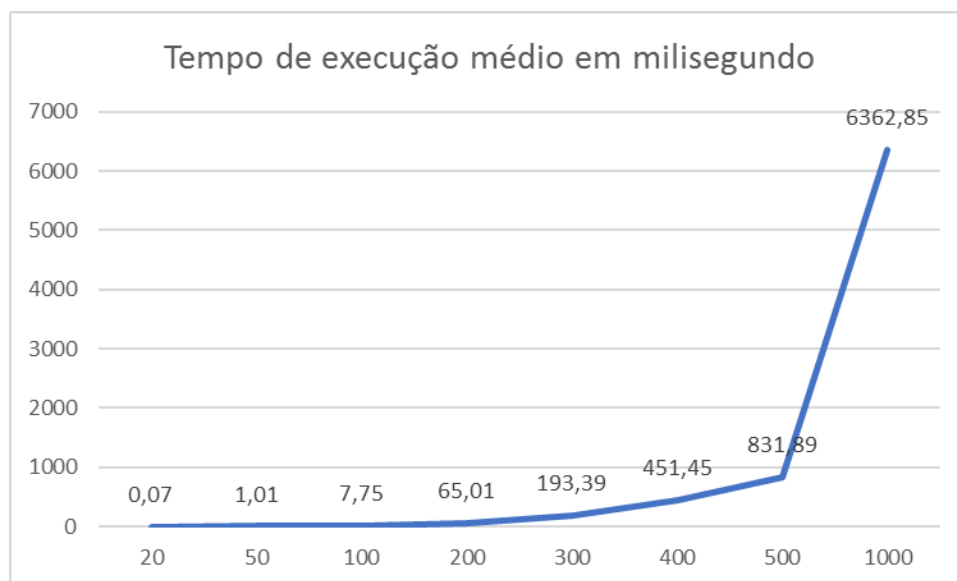
O único grupo que não obteve melhoria em 100% das instâncias foi o de 20 atividades. Nesse grupo houve 5 instâncias sem trocas efetivas, mantendo o sequenciamento inicial, e 1 instância em que ocorreram 2 falhas e 3 trocas. Porém quando comparado com a sequência inicial, a multa acumulada foi maior, gerando piora.

Conforme observa-se no Gráfico 14, quanto maior é o número de atividades a serem executadas, maior é a complexidade do problema, e com isso, maior é o tempo de execução que o programa necessita para encontrar uma melhor solução.

Mesmo com o aumento do tempo de processamento que o algoritmo levou para resolver os problemas mais complexos, ainda sim é viável a sua aplicação para um problema real.

O Gráfico 15 traz o valor do tempo médio de execução de cada grupo de atividades em milissegundos.

**Gráfico 15 - Gráfico do tempo médio de execução de cada grupo de atividade**



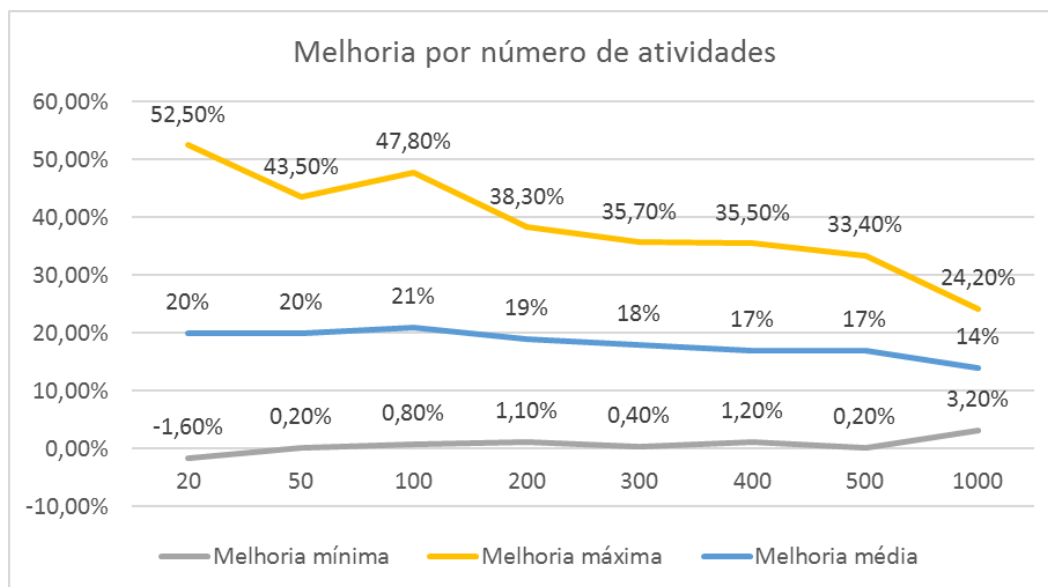
**Fonte: Autoria própria**

O problema que precisou de mais tempo para ser executado demorou aproximadamente 8 segundos. Em uma linha com 1000 atividades em que ocorreram 189 falhas a heurística proposta foi capaz de encontrar 1042 trocas efetivas, gerando uma economia de 19%. O tempo médio por falha foi de aproximadamente 0,04 segundos. Ou seja, é possível identificar um melhor sequenciamento enquanto a falha está sendo solucionada na linha de produção.

Com exceção do grupo de 20 atividades, todos os demais grupos tiveram apenas resultados positivos, visto que as porcentagens mínimas de melhoria foram maiores do que 0%.

O Gráfico 16 apresenta as informações de melhorias máximas e mínimas, bem como a média das melhorias encontradas em cada instância de cada grupo de atividades.

**Gráfico 16 – Melhorias mínimas, médias e máximas de cada grupo de atividades**



**Fonte: Autoria própria**

A partir do grupo de 100 atividades, a porcentagem máxima de melhoria e média de melhoria foram decaindo conforme maior o número de atividades a serem executadas e ainda assim tiveram uma melhora significativa.

A heurística proposta também não necessitou de um alto nível de tecnologia para ser implementada. Mesmo tendo uma lógica complexa, o equipamento utilizado para execução computacional do problema proposto não apresentou dificuldades para encontrar boas soluções.

Além disso, depois de ter o conhecimento dos dados necessários para entendimento do problema, a heurística precisa apenas ser acionada para ser executada, não exigindo mais do trabalho humano, visto que a própria heurística determina se a troca de posições é vantajoso em relação ao critério de otimização.

## 6 CONCLUSÕES

A heurística desenvolvida para máquina única pode ser aplicada para minimizar o custo das multas por atraso das entregas das atividades em relação aos seus prazos.

Com a apresentação dos resultados, é possível afirmar que é vantajoso aplicar a heurística de melhoria para buscar opções de sequenciamento das atividades quando ocorrer algum imprevisto.

Por simular uma execução do planejamento de uma linha de produção em máquina em tempo real, a heurística proposta se mostrou eficiente para encontrar melhores soluções no sequenciamento. Isso porque além de mostrar 99,25% de resultados melhores, o tempo de execução do programa é baixo. Para o maior problema simulado, com 1000 atividades, a média de execução foi de apenas 6,36 segundos para cada instância.

Na apresentação dos resultados foi mostrada uma instância que a multa acumulada da sequência inicial foi menor do que a da sequência final. Isso ocorreu porque este programa executa as atividades em tempo real, ou seja, a análise da reordenação só ocorre a partir da falha, visto que as atividades anteriores já haviam sido executadas.

Como a ordenação sugerida não considera falhas futuras pois as mesmas são imprevisíveis, a heurística é acionada sempre que ocorre esse evento e a análise da sequência inicial já considera todas as falhas ocorridas durante a execução.

Por se tratar de um sequenciamento dinâmico, a heurística proposta se mostrou muito interessante, uma vez que ela se adapta de acordo com a execução da programação. Sempre considerando o sequenciamento definido como o melhor, de acordo com o critério de priorização utilizado, para fazer a análise e reordenação das atividades que ainda não foram executadas.

Outro ponto que se mostrou positivo deste trabalho é que a busca de uma nova ordenação pode ser realizada durante a solução da falha, visto que a instância que necessitou de maior tempo de execução, entre as 800 instâncias simuladas, foi de 8,03 segundos.

A diferença dos tempos de processamento tem influência de fatores como: a quantidade de tarefas; quantidade de falhas; quantidade de trocas

efetivas; a posição da maior multa encontrada; e a posição em que a atividade falhou. Esses fatores fazem com que aumente o número de interações que a heurística faz, e conseqüentemente exigem um maior tempo para serem processados.

Foram encontradas melhorias máximas de 24,2% até 52,5% para e a média manteve-se entre 14% até 20% que foram decaindo a medida que foi aumentando a quantidade de atividades a serem executadas. Por ser uma heurística de fácil aplicação, ter a oportunidade de reduzir os custos causados por falhas de maneira simples pode ser vantajoso para o processo.

Para a aplicação em um problema real, a heurística desenvolvida pode ser adaptável às situações de acordo com os critérios estabelecidos, podendo trazer benefícios já comprovados. De acordo com os tempos de processamento, resultados obtidos e adotando o mesmo critério de priorização a aplicação desta heurística se mostrou viável.

Um ponto forte da heurística desenvolvida é garantir que a ordenação sugerida tenha uma melhor multa acumulada possível a partir do momento que ocorreu a falha, seguindo o critério de priorização proposto.

Esse problema é recorrente e pode ser aplicado em ambientes reais de diversos ramos de empresas e, como sugestão de trabalhos futuros, pode-se adaptar para outros ambientes, adicionando mais um maquinário, sequenciamentos dependentes, outros critérios de priorização como Função Perda de Taguchi, entre outros critérios para os parâmetros.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, E. L. **Introdução à Pesquisa Operacional: Métodos e Modelos para Análise de Decisão**. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

ARAÚJO, O.C.B., DHEIN, G., FAMPA, M. Minimizing the makespan on parallel machines with sequence dependent deteriorating effects. **XLIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**. Blumenau-SC, ago. 2017.

ARENALES, M. et al. **Pesquisa Operacional: para cursos de engenharia**. 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

ASKIN, R. G.; STANDRIDGE, C. R. **Modeling and analysis of manufacturing systems**. John Wiley e Sons Inc, 1993.

AVDEENKO, T. V., et al. Heuristic Approach to Unrelated Parallel Machines Scheduling under Availability and Resource Constraints. **IFAC - Papers OnLine**, v. 50, no 1, p. 13096-101, jul 2017.

BAKER, K. R. e SCUDDER, G. D. Sequencing with earliness and tardiness penalties: a review. **Operations Research**, v. 38, 22-36p, 1990.

BARDAL, M., MALTRACA, L. I., MICHELASSE, D. B. A implantação da produção enxuta nas pequenas empresas. Revista Eletrônica: **Administração e Ciências Contábeis**. nº 3. Curitiba, Faculdades Opet, 2010.

BISKUP, D., et al. Scheduling Identical Parallel Machines to Minimize Total Tardiness. **International Journal of Production Economics**, v. 115, no 1, p. 134-42, set 2008.

BUENO, F. **Métodos Heurísticos: teoria e implementações**. Araranguá: IFSC. 2009.

CAKICI, E., e S. J. Mason. Parallel Machine Scheduling Subject to Auxiliary Resource Constraints. **Production Planning e Control**, v. 18, no 3, p. 217-25, abril 2007.



CAMPOS, V. F. **Gerenciamento da rotina do trabalho do dia a dia**. Bloch Editores, 9 ed. Rio de Janeiro, 2013.

CHAVES, A. A.; et al. Uma nova heurística para o problema de minimização de trocas de ferramentas. **Gestão e Produção**, v. 19, no 1, p. 17-30, 2012.

FERREIRA, D.; et al. Um modelo de otimização inteira mista e heurísticas relax andfix para a programação da produção de fábricas de refrigerantes de pequeno porte. **Production**, v. 18, no 1, p. 76-88, 2008.

GLOVER, F. Future paths for integer programming and links to artificial intelligence. **Computers and Operational Research**, v. 13, p. 533-549, 1986.

GROENEVELT, H. **Handbook In Operations Research and Management Science**, v. 04, p. 629-670, 1993.

GUPTA, J. N. D; HO, J. C. Minimizing flowtime subject to optimal makespan on two identical parallel machines. **Pesquisa Operacional**, v.20, n.1, p.05-17, 2000.

HUNSUCKER, J.L. Performance of priority rules in a due date flow shop. **Omega**. v.20, n. 1, 1992.

KINTSAKIS, M.; PSOMOPOULOS, F.E.; MITKAS, P.A. Reinforcement Learning based scheduling in a workflow management system. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 81, p. 94-106, 2019.

LEME, R. A. S. A História da Engenharia de Produção no Brasil. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, III, 1983, São Paulo-SP. **Anais**.

LIU, J.; REEVES, C. Constructive and composite heuristic solutions to the P|| $\sum C_i$  scheduling problem. **European Journal of Operational Research** 132, p. 439-452, 2001.

MAINIERI, G.B.; RONCONI, D.P. Regras de despacho para a minimização do atraso total no ambiente flowshop flexível. **Gestão e Produção**, v. 17, no 4, p. 683-692, dez 2010.

MELO, E.L.; RONCONI, D.P. Regras de prioridade eficientes que exploram características do Jobshop Flexível para a minimização do atraso total. **Production**, v. 25, no 1, p. 79-91, 2015.

MIGUEL, P. A. C.; FLEURY, A.; MELLO, C. H. P.; et al. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**, 3 ed, 2018.

MONTEVECHI, J.A; et al. Análise comparativa entre regras heurísticas de sequenciamento da produção aplicada em jobshop. **Produto e Produção**, v. 13, n. 2, p. 12-18, jun. 2002.

NAPIERALA, H. O algoritmo genético para solucionar a programação de produção do sistema de fluxo permutacional. **Ciências Sociais Aplicadas em Revista**, Marechal Cândido Rondon - PR, v.13, n.24, p. 175-189, jun.2014.

NAWAZ, M.; ENSCORE, JR. E.E.; HAM, L. A heuristic algorithm for the m-machine, n-job flow-shop sequencing problem. **OMEGA, The International Journal of Management Science**, v.11, n.1, p.91-95, 1983.

PACHECO, R. F.; SANTORO, M. C. A adoção de modelos de scheduling no Brasil: deficiências do processo de escolha. **Gestão & Produção**. v.8, n.2, p.128-138, 2001.

PEINADO, J.; GRAEML; A. R. **Administração da Produção**. 1. Ed. Curitiba: UnicenP, 2007.

PENNA, P. H. V.; et al. Uma heurística híbrida para minimizar custos com antecipação e atraso do sequenciamento da produção em uma máquina. **Production**, v. 22, no 4, p. 766-77, mai 2012.

PINEDO, M.L. **Scheduling, Theory, Algorithms, and Systems**. 5ed, Nova Iorque: Springer, 2016.

PIZZOLATO, N. D.; GANDOLPHO, A. A. **Técnicas de Otimização**. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

RAJENDRAN, C.; ZIEGLER, H. An efficient heuristic for scheduling in a flowshop to minimize total weighted flowtime of jobs. **European Journal of Operational Research**, v.103, p.129-138, 1997.

RUIZ, R.; STUTZLE, T. A simple and effective iterated greedy algorithm for the permutation flowshop scheduling problem. **European Journal of Operational Research**, v.44, p. 2033-2049, 2007.

SANCHES, F.B.; et al. Evaluation of heuristics for a branch and bound algorithm to minimize the makespan in a flowshop with blocking. **Acta Scientiarum**, v. 38, no 3, p. 321, jun 2016.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 8 ed. São Paulo: Atlas, 2018.

SOUZA, A.B.D.; MOCCELIN, J.V. Metaheurística híbrida Algoritmo Genético-Busca Tabu para programação de operações flowshop. In SIMPOSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL XXXII., 2000, Viçosa. **Anais**. Rio de Janeiro: SOBRAPO.

TAHA, H. A. **An Introduction to Operations Research**. 10 ed.,2016.

TORRES, M.D.; et al. A branch and bound hybrid algorithm with four deterministic heuristics for the resource constrained project scheduling problem (RCPSP). **DYNA**, v. 82, no 190, p. 198-207, maio 2015.

TUBINO, D. F. **Manual de planejamento e controle da produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção**. 1 ed. Itajubá: UNIFEI, 2012.

WANG, H. e ALIDAEE, B. Effective Heuristic for Large-Scale Unrelated Parallel Machines Scheduling Problems. **Omega**, jul 2018.

**APÊNDICE A – Dados das instâncias**

Para 20 atividades.

Instância	Semente	Tempo de execução (milissegundos)	Número de Falhas	Número de Trocas Efetivas	Valor sem heurística	Valor com heurística	Economia	% de economia
1	1	0	3	11	2116	1037	1079	51%
2	2	0	4	3	2366	2056	310	13%
3	3	0	3	4	2945	2777	168	6%
4	4	0	4	2	2764	2516	248	9%
5	5	0	3	11	1861	1186	675	36%
6	6	0	3	2	1446	1233	213	15%
7	7	0	5	11	6126	5128	998	16%
8	8	0	6	10	5473	3708	1765	32%
9	9	0	5	2	2069	1720	349	17%
10	10	0	2	3	1591	1498	93	6%
11	11	0	4	5	2276	2004	272	12%
12	12	0	5	5	3085	2540	545	18%
13	13	0	4	7	2794	1942	852	30%
14	14	0	5	10	4355	3558	797	18%
15	15	0	1	3	157	106	51	32%
16	16	0	2	3	1816	1594	222	12%
17	17	0	5	10	3448	2367	1081	31%
18	18	1	9	5	9803	8174	1629	17%
19	19	0	4	1	3570	3447	123	3%
20	20	0	5	7	4137	3113	1024	25%
21	21	0	3	2	913	624	289	32%
22	22	0	6	9	3736	3113	623	17%
23	23	0	4	2	3697	3422	275	7%
24	24	0	4	8	4864	3783	1081	22%
25	25	0	3	3	1486	853	633	43%
26	26	0	5	8	6610	5792	818	12%
27	27	0	2	0	512	512	0	0%
28	28	0	8	5	6697	5746	951	14%
29	29	0	3	7	4872	3913	959	20%
30	30	0	4	4	3241	2798	443	14%
31	31	0	4	2	3110	2990	120	4%
32	32	0	2	4	1529	1206	323	21%
33	33	0	5	13	4110	2698	1412	34%
34	34	0	3	6	1773	1400	373	21%
35	35	0	5	1	3932	3806	126	3%
36	36	0	4	9	2937	1501	1436	49%
37	37	0	7	15	5262	2501	2761	52%
38	38	0	6	9	7419	5714	1705	23%
39	39	0	5	4	2435	1764	671	28%

Instância	Semente	Tempo de execução (milissegundos)	Número de Falhas	Número de Trocas Efetivas	Valor sem heurística	Valor com heurística	Economia	% de economia
40	40	0	2	9	2200	1379	821	37%
41	41	0	4	5	1787	1067	720	40%
42	42	0	2	2	1788	1589	199	11%
43	43	0	7	6	4950	3805	1145	23%
44	44	0	4	11	4252	2597	1655	39%
45	45	0	4	2	2605	2345	260	10%
46	46	1	6	1	4310	4258	52	1%
47	47	0	5	11	4344	3156	1188	27%
48	48	0	2	5	738	574	164	22%
49	49	0	4	2	2863	2639	224	8%
50	50	0	4	1	3053	2924	129	4%
51	51	0	2	4	1489	1242	247	17%
52	52	0	6	5	4863	3403	1460	30%
53	53	0	6	3	4701	4160	541	12%
54	54	0	5	7	4078	3075	1003	25%
55	55	0	3	3	2183	1771	412	19%
56	56	1	2	1	2090	1997	93	4%
57	57	0	8	13	8385	6491	1894	23%
58	58	0	4	5	2903	1814	1089	38%
59	59	0	2	5	842	564	278	33%
60	60	0	4	2	2991	2775	216	7%
61	61	0	1	1	1171	1132	39	3%
62	62	0	5	0	2887	2887	0	0%
63	63	0	9	10	9302	7621	1681	18%
64	64	0	1	0	1976	1976	0	0%
65	65	1	5	8	3948	3033	915	23%
66	66	0	4	4	2391	2037	354	15%
67	67	0	5	2	2821	2554	267	9%
68	68	0	2	16	2094	1138	956	46%
69	69	0	4	4	2562	1997	565	22%
70	70	0	7	6	5658	4377	1281	23%
71	71	0	2	1	805	797	8	1%
72	72	0	5	10	3625	2518	1107	31%
73	73	0	2	1	432	219	213	49%
74	74	0	3	2	1889	1555	334	18%
75	75	0	5	3	2667	2352	315	12%
76	76	0	6	1	3646	3518	128	4%
77	77	0	2	3	980	996	-16	-2%
78	78	1	4	7	2354	1644	710	30%
79	79	0	8	13	9412	7404	2008	21%
80	80	0	6	8	5186	3962	1224	24%
81	81	0	7	9	5300	4625	675	13%

<b>Instância</b>	<b>Semente</b>	<b>Tempo de execução (milissegundos)</b>	<b>Número de Falhas</b>	<b>Número de Trocas Efetivas</b>	<b>Valor sem heurística</b>	<b>Valor com heurística</b>	<b>Economia</b>	<b>% de economia</b>
82	82	0	3	13	3083	1803	1280	42%
83	83	0	5	7	3231	2364	867	27%
84	84	0	4	3	3026	2526	500	17%
85	85	0	4	4	2453	2174	279	11%
86	86	0	5	14	3344	1988	1356	41%
87	87	1	8	13	5225	3571	1654	32%
88	88	0	5	16	3544	2389	1155	33%
89	89	0	2	1	429	375	54	13%
90	90	0	3	0	1200	1200	0	0%
91	91	0	5	4	4461	3783	678	15%
92	92	0	3	9	2398	1383	1015	42%
93	93	0	4	10	2186	1471	715	33%
94	94	0	5	6	3487	2720	767	22%
95	95	0	5	12	4609	2756	1853	40%
96	96	1	2	0	669	669	0	0%
97	97	0	5	2	1873	1481	392	21%
98	98	0	4	1	2314	2306	8	0%
99	99	0	3	9	1437	1247	190	13%
100	100	0	3	2	2500	2096	404	16%

Para 50 atividades.

Instância	Semente	Tempo de execução (milissegundos)	Número de Falhas	Número de Trocas Efetivas	Valor sem heurística	Valor com heurística	Economia	% de economia
1	101	1	11	23	24311	17908	6403	26%
2	102	2	12	23	20033	15398	4635	23%
3	103	1	14	31	35076	25729	9347	27%
4	104	2	12	28	25238	20198	5040	20%
5	105	2	13	17	16319	14539	1780	11%
6	106	1	10	17	13735	10619	3116	23%
7	107	2	16	33	33400	25617	7783	23%
8	108	2	7	28	14125	9283	4842	34%
9	109	0	9	18	6594	3723	2871	44%
10	110	2	11	24	17760	13738	4022	23%
11	111	0	6	14	9772	7430	2342	24%
12	112	1	13	14	29388	22263	7125	24%
13	113	2	11	17	21227	18652	2575	12%
14	114	1	13	21	24063	18914	5149	21%
15	115	1	10	19	19119	15684	3435	18%
16	116	2	10	29	21785	16682	5103	23%
17	117	3	11	56	25951	15862	10089	39%
18	118	2	12	25	24487	19969	4518	18%
19	119	1	11	3	24243	23792	451	2%
20	120	1	8	13	19724	17135	2589	13%
21	121	0	6	14	10751	8586	2165	20%
22	122	1	6	15	11531	8975	2556	22%
23	123	1	8	18	14929	11385	3544	24%
24	124	2	9	67	17173	11107	6066	35%
25	125	1	11	6	26208	25370	838	3%
26	126	1	14	5	22718	21242	1476	6%
27	127	0	8	11	22340	21021	1319	6%
28	128	1	8	9	16108	13832	2276	14%
29	129	1	9	2	22075	22036	39	0%
30	130	1	11	15	29605	25858	3747	13%
31	131	0	5	12	8666	7090	1576	18%
32	132	1	8	19	15948	11113	4835	30%
33	133	1	15	26	24749	18468	6281	25%
34	134	1	7	9	12799	10714	2085	16%
35	135	1	12	18	20467	17736	2731	13%
36	136	1	13	50	26302	16577	9725	37%
37	137	2	16	22	38813	32700	6113	16%
38	138	1	10	22	22346	15412	6934	31%
39	139	1	16	18	27484	24828	2656	10%



Instância	Semente	Tempo de execução (milissegundos)	Número de Falhas	Número de Trocas Efetivas	Valor sem heurística	Valor com heurística	Economia	% de economia
40	140	1	7	16	16621	13582	3039	18%
41	141	1	15	24	27364	20512	6852	25%
42	142	1	9	21	13461	8897	4564	34%
43	143	1	11	26	28476	21599	6877	24%
44	144	1	9	12	14403	12189	2214	15%
45	145	1	16	25	37965	32042	5923	16%
46	146	1	9	10	16573	13548	3025	18%
47	147	0	4	11	6398	5235	1163	18%
48	148	1	6	22	10028	6140	3888	39%
49	149	1	7	15	18621	16847	1774	10%
50	150	1	11	23	24335	19993	4342	18%
51	151	0	11	9	19058	17438	1620	9%
52	152	2	18	36	43790	32733	11057	25%
53	153	0	10	2	20601	20334	267	1%
54	154	1	8	17	12424	8882	3542	29%
55	155	1	11	32	27268	21653	5615	21%
56	156	1	11	21	23258	18254	5004	22%
57	157	1	8	29	14501	9635	4866	34%
58	158	1	9	20	29682	27060	2622	9%
59	159	2	14	23	29346	23354	5992	20%
60	160	1	10	24	19532	13995	5537	28%
61	161	0	12	17	21949	18746	3203	15%
62	162	2	13	17	23881	21569	2312	10%
63	163	1	11	27	25199	16095	9104	36%
64	164	1	14	3	24098	23709	389	2%
65	165	1	14	34	27542	19130	8412	31%
66	166	1	12	7	28504	26031	2473	9%
67	167	1	8	11	13878	12083	1795	13%
68	168	0	9	17	16723	13310	3413	20%
69	169	1	6	14	13487	9280	4207	31%
70	170	0	8	15	12158	9687	2471	20%
71	171	1	12	7	27197	26063	1134	4%
72	172	1	10	19	24822	20472	4350	18%
73	173	1	10	32	20125	13786	6339	31%
74	174	1	10	22	20503	14083	6420	31%
75	175	1	7	21	14262	10793	3469	24%
76	176	1	15	30	37353	29619	7734	21%
77	177	1	14	29	22852	17185	5667	25%
78	178	2	11	33	23835	18030	5805	24%
79	179	0	10	15	19354	15539	3815	20%
80	180	0	7	3	10161	9667	494	5%
81	181	1	7	6	11842	10350	1492	13%

<b>Instância</b>	<b>Semente</b>	<b>Tempo de execução (milissegundos)</b>	<b>Número de Falhas</b>	<b>Número de Trocas Efetivas</b>	<b>Valor sem heurística</b>	<b>Valor com heurística</b>	<b>Economia</b>	<b>% de economia</b>
82	182	0	6	33	10088	5716	4372	43%
83	183	2	13	33	24137	20707	3430	14%
84	184	0	10	29	17284	10784	6500	38%
85	185	2	7	17	19993	17492	2501	13%
86	186	0	8	20	19046	15692	3354	18%
87	187	1	9	14	23961	21817	2144	9%
88	188	1	8	10	13319	11581	1738	13%
89	189	0	8	12	13908	11882	2026	15%
90	190	1	10	8	21184	18462	2722	13%
91	191	1	13	27	31447	24003	7444	24%
92	192	0	12	23	24843	19209	5634	23%
93	193	1	10	13	20569	18058	2511	12%
94	194	1	8	26	19540	16166	3374	17%
95	195	0	5	4	8592	7230	1362	16%
96	196	2	13	32	29295	21229	8066	28%
97	197	1	12	26	26095	19661	6434	25%
98	198	1	8	12	22838	19643	3195	14%
99	199	1	9	25	19388	16031	3357	17%
100	200	1	15	33	33808	22709	11099	33%

Para 100 atividades.

Instância	Semente	Tempo de execução (milissegundos)	Número de Falhas	Número de Trocas Efetivas	Valor sem heurística	Valor com heurística	Economia	% de economia
1	201	10	18	55	91207	76608	14599	16%
2	202	9	27	32	110649	101836	8813	8%
3	203	6	15	84	69453	44766	24687	36%
4	204	8	18	57	81216	66170	15046	19%
5	205	7	17	68	82653	60049	22604	27%
6	206	8	22	39	78380	64498	13882	18%
7	207	6	17	40	69331	62194	7137	10%
8	208	8	31	81	127354	90695	36659	29%
9	209	6	16	44	55193	41676	13517	24%
10	210	6	16	37	75396	59285	16111	21%
11	211	6	21	21	96067	91725	4342	5%
12	212	6	21	37	86151	73564	12587	15%
13	213	6	13	62	59123	45139	13984	24%
14	214	6	17	66	62872	41696	21176	34%
15	215	6	23	44	86757	78565	8192	9%
16	216	7	15	43	61288	45571	15717	26%
17	217	10	23	92	116162	76340	39822	34%
18	218	4	12	31	46944	38486	8458	18%
19	219	3	17	31	47553	33723	13830	29%
20	220	7	20	72	93654	62737	30917	33%
21	221	7	23	60	98034	70984	27050	28%
22	222	12	25	128	97989	51106	46883	48%
23	223	7	17	70	72853	50373	22480	31%
24	224	8	22	34	89605	83740	5865	7%
25	225	9	27	91	115520	83508	32012	28%
26	226	7	20	67	72648	48427	24221	33%
27	227	5	15	41	56472	48900	7572	13%
28	228	5	19	26	71895	65453	6442	9%
29	229	9	20	63	84737	70778	13959	16%
30	230	9	17	105	87806	55611	32195	37%
31	231	12	23	83	109238	78316	30922	28%
32	232	20	21	97	113632	84823	28809	25%
33	233	8	17	42	60814	50266	10548	17%
34	234	13	28	78	103861	79124	24737	24%
35	235	7	20	13	95921	90963	4958	5%
36	236	11	21	57	88130	75402	12728	14%
37	237	10	17	51	76382	60284	16098	21%
38	238	6	19	78	89184	62745	26439	30%
39	239	21	24	122	120906	77372	43534	36%

Instância	Semente	Tempo de execução (milissegundos)	Número de Falhas	Número de Trocas Efetivas	Valor sem heurística	Valor com heurística	Economia	% de economia
40	240	9	19	64	81787	64696	17091	21%
41	241	9	21	61	97306	80530	16776	17%
42	242	7	17	39	90972	74159	16813	18%
43	243	6	16	22	60434	52318	8116	13%
44	244	9	19	65	66984	42124	24860	37%
45	245	8	15	74	51717	32291	19426	38%
46	246	6	20	54	65200	45344	19856	30%
47	247	8	23	43	80231	68291	11940	15%
48	248	8	20	59	77097	58713	18384	24%
49	249	6	19	49	80813	65270	15543	19%
50	250	7	16	59	62754	45163	17591	28%
51	251	8	26	54	118625	91846	26779	23%
52	252	7	21	74	91782	70910	20872	23%
53	253	8	17	61	67683	47562	20121	30%
54	254	5	27	3	123749	122699	1050	1%
55	255	9	21	64	85154	69155	15999	19%
56	256	6	15	35	48994	40601	8393	17%
57	257	9	26	54	115006	99239	15767	14%
58	258	6	21	69	69248	50812	18436	27%
59	259	8	24	61	86284	62060	24224	28%
60	260	9	20	58	90475	68172	22303	25%
61	261	3	13	29	50317	42089	8228	16%
62	262	9	21	52	101509	83682	17827	18%
63	263	10	21	70	69694	52131	17563	25%
64	264	15	26	89	130793	106021	24772	19%
65	265	5	12	45	43586	34743	8843	20%
66	266	7	20	58	95186	73063	22123	23%
67	267	9	30	29	138835	127394	11441	8%
68	268	12	31	78	107531	82550	24981	23%
69	269	12	17	75	69255	49472	19783	29%
70	270	7	20	55	62195	48223	13972	22%
71	271	10	29	116	138515	85206	53309	38%
72	272	5	16	51	59823	46141	13682	23%
73	273	3	19	7	94841	93397	1444	2%
74	274	8	17	70	74971	55140	19831	26%
75	275	6	25	19	95711	86339	9372	10%
76	276	10	30	84	112243	76620	35623	32%
77	277	4	13	15	54507	48426	6081	11%
78	278	6	19	35	95718	84311	11407	12%
79	279	5	14	29	59236	48517	10719	18%
80	280	9	19	89	97917	72957	24960	25%
81	281	5	18	35	68790	56636	12154	18%

<b>Instância</b>	<b>Semente</b>	<b>Tempo de execução (milissegundos)</b>	<b>Número de Falhas</b>	<b>Número de Trocas Efetivas</b>	<b>Valor sem heurística</b>	<b>Valor com heurística</b>	<b>Economia</b>	<b>% de economia</b>
82	282	5	19	26	71743	67283	4460	6%
83	283	8	22	79	91934	68617	23317	25%
84	284	16	24	141	117741	79785	37956	32%
85	285	7	19	59	82194	61576	20618	25%
86	286	8	24	38	112210	103883	8327	7%
87	287	7	19	77	62597	43629	18968	30%
88	288	5	18	42	73192	60563	12629	17%
89	289	10	20	58	67425	54345	13080	19%
90	290	7	17	64	61869	44054	17815	29%
91	291	6	22	49	75087	57474	17613	23%
92	292	5	21	28	84506	73530	10976	13%
93	293	5	13	38	57564	48069	9495	16%
94	294	13	25	44	122711	113576	9135	7%
95	295	5	20	37	60958	53997	6961	11%
96	296	6	20	36	74110	63531	10579	14%
97	297	6	16	44	82175	66126	16049	20%
98	298	8	21	65	87834	70527	17307	20%
99	299	8	25	76	107076	81518	25558	24%
100	300	1	7	5	26255	25645	610	2%

Para 200 atividades.

Instância	Semente	Tempo de execução (milissegundos)	Número de Falhas	Número de Trocas Efetivas	Valor sem heurística	Valor com heurística	Economia	% de economia
1	301	51	39	97	354164	308647	45517	13%
2	302	61	38	162	310872	228651	82221	26%
3	303	74	49	180	430283	346035	84248	20%
4	304	54	48	85	387573	360738	26835	7%
5	305	53	40	99	362004	316720	45284	13%
6	306	57	34	137	311167	232551	78616	25%
7	307	55	53	109	458192	388153	70039	15%
8	308	67	49	113	415335	352415	62920	15%
9	309	94	42	146	390547	314016	76531	20%
10	310	86	45	142	372753	294748	78005	21%
11	311	51	46	100	340910	282683	58227	17%
12	312	32	37	15	320104	302443	17661	6%
13	313	63	33	190	269932	186731	83201	31%
14	314	135	51	77	484873	424510	60363	12%
15	315	94	39	214	287786	196857	90929	32%
16	316	58	36	146	273920	219107	54813	20%
17	317	42	41	91	338247	295199	43048	13%
18	318	24	30	6	249869	247021	2848	1%
19	319	34	35	67	297473	249255	48218	16%
20	320	56	43	126	366917	278312	88605	24%
21	321	40	33	68	269206	245567	23639	9%
22	322	38	45	82	348440	302731	45709	13%
23	323	64	44	188	400866	280241	120625	30%
24	324	48	34	62	292151	276870	15281	5%
25	325	49	47	62	367224	333597	33627	9%
26	326	67	41	103	395014	346692	48322	12%
27	327	48	36	98	308573	255901	52672	17%
28	328	85	42	210	376495	266888	109607	29%
29	329	58	42	163	306102	233282	72820	24%
30	330	73	50	161	331800	262616	69184	21%
31	331	39	33	113	228677	188967	39710	17%
32	332	51	41	91	307432	270467	36965	12%
33	333	62	39	119	368763	319823	48940	13%
34	334	101	41	173	317229	215205	102024	32%
35	335	188	36	291	341640	210904	130736	38%
36	336	62	40	122	328883	295131	33752	10%
37	337	52	36	98	300074	259942	40132	13%
38	338	61	39	96	376413	350452	25961	7%
39	339	54	35	111	299886	244543	55343	18%

Instância	Semente	Tempo de execução (milissegundos)	Número de Falhas	Número de Trocas Efetivas	Valor sem heurística	Valor com heurística	Economia	% de economia
40	340	83	51	275	475039	318169	156870	33%
41	341	62	40	151	359734	263042	96692	27%
42	342	33	36	59	280613	237388	43225	15%
43	343	75	37	174	299917	229317	70600	24%
44	344	76	47	133	377441	303059	74382	20%
45	345	67	35	283	253964	167248	86716	34%
46	346	47	34	83	330960	301834	29126	9%
47	347	71	36	229	299286	227592	71694	24%
48	348	67	42	161	339717	267642	72075	21%
49	349	88	46	261	396618	271726	124892	31%
50	350	45	31	100	248917	212511	36406	15%
51	351	84	47	168	395227	283656	111571	28%
52	352	89	44	129	368446	278500	89946	24%
53	353	72	37	194	357228	260210	97018	27%
54	354	89	50	233	472403	334939	137464	29%
55	355	58	49	102	349599	324352	25247	7%
56	356	73	43	218	417620	304084	113536	27%
57	357	111	41	170	298025	229288	68737	23%
58	358	68	39	55	293432	273752	19680	7%
59	359	61	41	115	330656	257645	73011	22%
60	360	39	40	133	289446	214553	74893	26%
61	361	83	48	176	416961	325816	91145	22%
62	362	71	39	161	361615	272895	88720	25%
63	363	70	37	217	290610	208382	82228	28%
64	364	65	36	206	332113	246875	85238	26%
65	365	79	50	192	458820	355071	103749	23%
66	366	95	44	178	415884	330824	85060	20%
67	367	92	47	106	402326	369538	32788	8%
68	368	87	45	85	399136	365403	33733	8%
69	369	50	44	98	370920	310271	60649	16%
70	370	65	40	165	381494	292437	89057	23%
71	371	46	41	23	344720	338019	6701	2%
72	372	70	47	158	368984	293701	75283	20%
73	373	52	40	118	304657	251402	53255	17%
74	374	109	44	236	340808	224453	116355	34%
75	375	88	49	115	450340	389808	60532	13%
76	376	59	44	179	327184	225940	101244	31%
77	377	49	42	81	324099	287790	36309	11%
78	378	69	44	161	340136	271171	68965	20%
79	379	53	39	50	336440	310448	25992	8%
80	380	74	49	136	446688	351027	95661	21%
81	381	42	33	100	252755	209817	42938	17%

<b>Instância</b>	<b>Semente</b>	<b>Tempo de execução (milissegundos)</b>	<b>Número de Falhas</b>	<b>Número de Trocas Efetivas</b>	<b>Valor sem heurística</b>	<b>Valor com heurística</b>	<b>Economia</b>	<b>% de economia</b>
82	382	61	37	198	296519	224652	71867	24%
83	383	54	36	105	276894	233972	42922	16%
84	384	43	30	67	263270	246883	16387	6%
85	385	40	39	43	362952	347637	15315	4%
86	386	122	46	219	436980	316880	120100	27%
87	387	41	33	114	269755	223153	46602	17%
88	388	68	43	129	410585	342075	68510	17%
89	389	92	41	278	375474	244900	130574	35%
90	390	55	42	88	333721	296196	37525	11%
91	391	57	41	107	370518	326689	43829	12%
92	392	56	46	190	383461	277309	106152	28%
93	393	70	38	156	327447	270161	57286	17%
94	394	67	42	183	352726	272061	80665	23%
95	395	54	37	90	338059	294369	43690	13%
96	396	23	32	45	219220	189512	29708	14%
97	397	40	33	79	260142	222366	37776	15%
98	398	26	30	35	286305	267538	18767	7%
99	399	71	50	173	460292	356112	104180	23%
100	400	54	41	76	281223	242391	38832	14%



Para 300 atividades.

Instância	Semente	Tempo de execução (milissegundos)	Número de Falhas	Número de Trocas Efetivas	Valor sem heurística	Valor com heurística	Economia	% de economia
1	401	174	69	140	788232	667143	121089	15%
2	402	153	60	160	748216	613476	134740	18%
3	403	200	56	173	697144	598550	98594	14%
4	404	241	63	298	795318	566758	228560	29%
5	405	200	59	259	772933	587249	185684	24%
6	406	168	66	175	753993	634533	119460	16%
7	407	171	48	132	623360	573549	49811	8%
8	408	178	68	203	844780	740746	104034	12%
9	409	258	66	197	897154	821886	75268	8%
10	410	176	57	194	715556	596334	119222	17%
11	411	126	66	15	768069	765296	2773	0%
12	412	182	50	194	565197	443922	121275	21%
13	413	167	54	110	767405	698154	69251	9%
14	414	347	69	282	933530	745233	188297	20%
15	415	313	70	351	909919	689809	220110	24%
16	416	177	53	214	760732	627737	132995	17%
17	417	158	49	184	558286	459802	98484	18%
18	418	271	62	246	803517	687693	115824	14%
19	419	262	72	317	772853	587943	184910	24%
20	420	275	61	292	807732	637575	170157	21%
21	421	161	57	95	705787	650966	54821	8%
22	422	226	63	369	805851	592197	213654	27%
23	423	191	61	220	824017	687331	136686	17%
24	424	154	55	164	611908	502520	109388	18%
25	425	175	62	117	830387	711461	118926	14%
26	426	186	47	199	544047	445290	98757	18%
27	427	303	63	336	745340	570114	175226	24%
28	428	207	59	192	699388	609018	90370	13%
29	429	173	63	128	878214	802653	75561	9%
30	430	250	66	305	887048	636149	250899	28%
31	431	168	46	84	569711	522870	46841	8%
32	432	195	53	162	737553	633241	104312	14%
33	433	176	57	180	743848	631666	112182	15%
34	434	192	61	202	656044	576602	79442	12%
35	435	204	72	258	912091	672689	239402	26%
36	436	206	61	294	785987	598890	187097	24%
37	437	187	56	131	810586	705913	104673	13%
38	438	141	42	234	511643	389630	122013	24%
39	439	174	56	161	785290	710144	75146	10%

Instância	Semente	Tempo de execução (milissegundos)	Número de Falhas	Número de Trocas Efetivas	Valor sem heurística	Valor com heurística	Economia	% de economia
40	440	211	64	257	800029	661703	138326	17%
41	441	195	56	227	631643	524903	106740	17%
42	442	190	48	163	679547	577639	101908	15%
43	443	160	50	131	623987	555616	68371	11%
44	444	182	49	165	607615	509158	98457	16%
45	445	256	64	409	865099	569401	295698	34%
46	446	161	70	188	819465	597496	221969	27%
47	447	122	43	130	528752	447430	81322	15%
48	448	241	67	359	925560	651627	273933	30%
49	449	211	65	237	790163	592309	197854	25%
50	450	200	69	214	818925	634765	184160	22%
51	451	200	59	194	749999	608851	141148	19%
52	452	216	53	354	647918	447905	200013	31%
53	453	223	54	362	662920	483548	179372	27%
54	454	179	54	288	655729	500545	155184	24%
55	455	187	64	77	820120	781750	38370	5%
56	456	262	73	322	966274	672841	293433	30%
57	457	220	65	280	782491	612354	170137	22%
58	458	168	64	212	789795	664188	125607	16%
59	459	164	51	177	664048	561312	102736	15%
60	460	145	51	161	678352	572520	105832	16%
61	461	280	64	270	878663	674446	204217	23%
62	462	160	68	130	916091	797074	119017	13%
63	463	134	54	171	605079	512481	92598	15%
64	464	151	50	147	711512	572279	139233	20%
65	465	122	54	91	719272	670167	49105	7%
66	466	116	43	135	569944	508124	61820	11%
67	467	170	82	115	1013431	859287	154144	15%
68	468	256	66	264	945308	731437	213871	23%
69	469	212	61	259	653894	494493	159401	24%
70	470	153	62	139	844949	748807	96142	11%
71	471	184	55	331	670593	431249	239344	36%
72	472	203	60	253	663955	521429	142526	21%
73	473	128	66	57	794528	763932	30596	4%
74	474	229	51	247	640414	513140	127274	20%
75	475	180	59	180	679721	555116	124605	18%
76	476	143	51	122	669101	579835	89266	13%
77	477	130	57	147	690658	580393	110265	16%
78	478	169	58	192	709037	566778	142259	20%
79	479	160	62	145	719909	655636	64273	9%
80	480	183	61	215	774579	648066	126513	16%
81	481	269	69	210	826391	666886	159505	19%

<b>Instância</b>	<b>Semente</b>	<b>Tempo de execução (milissegundos)</b>	<b>Número de Falhas</b>	<b>Número de Trocas Efetivas</b>	<b>Valor sem heurística</b>	<b>Valor com heurística</b>	<b>Economia</b>	<b>% de economia</b>
82	482	156	60	165	675488	562146	113342	17%
83	483	177	62	237	670278	538835	131443	20%
84	484	176	57	175	678389	582295	96094	14%
85	485	184	64	191	810464	683206	127258	16%
86	486	178	61	261	653063	477246	175817	27%
87	487	211	62	221	668678	564214	104464	16%
88	488	209	58	182	711237	622836	88401	12%
89	489	193	57	208	637945	548843	89102	14%
90	490	180	54	261	699846	522000	177846	25%
91	491	170	68	151	874966	793141	81825	9%
92	492	200	62	160	721609	594580	127029	18%
93	493	195	56	185	755841	640389	115452	15%
94	494	295	59	309	830390	642529	187861	23%
95	495	164	61	127	863928	760616	103312	12%
96	496	190	57	292	786889	640341	146548	19%
97	497	209	65	311	759902	587118	172784	23%
98	498	208	59	347	651905	448874	203031	31%
99	499	187	48	164	651375	546397	104978	16%
100	500	166	65	116	841198	752657	88541	11%

Para 400 atividades.

Instância	Semente	Tempo de execução (milissegundos)	Número de Falhas	Número de Trocas Efetivas	Valor sem heurística	Valor com heurística	Economia	% de economia
1	501	548	74	351	1331851	1105303	226548	17%
2	502	603	98	383	1764230	1524613	239617	14%
3	503	522	75	245	1278767	1075591	203176	16%
4	504	394	76	181	1215988	1138300	77688	6%
5	505	547	83	417	1524742	1212325	312417	20%
6	506	448	83	299	1405235	1114745	290490	21%
7	507	512	92	389	1640189	1284759	355430	22%
8	508	437	76	182	1261305	1151142	110163	9%
9	509	313	90	152	1500402	1345805	154597	10%
10	510	400	76	178	1190865	1079599	111266	9%
11	511	519	72	434	1209430	942124	267306	22%
12	512	615	78	437	1246365	988847	257518	21%
13	513	396	77	184	1307721	1138859	168862	13%
14	514	462	85	237	1515096	1314146	200950	13%
15	515	389	80	176	1342246	1210904	131342	10%
16	516	451	91	324	1283071	1068433	214638	17%
17	517	576	82	452	1348924	1102081	246843	18%
18	518	473	81	321	1380253	1116096	264157	19%
19	519	431	75	335	1186184	941646	244538	21%
20	520	471	78	348	1237863	970202	267661	22%
21	521	459	84	339	1355051	1052699	302352	22%
22	522	467	88	296	1544803	1271429	273374	18%
23	523	546	87	280	1643346	1404662	238684	15%
24	524	495	86	440	1307656	984805	322851	25%
25	525	356	67	240	1155470	1018239	137231	12%
26	526	572	76	381	1464550	1231472	233078	16%
27	527	374	76	246	1368454	1127926	240528	18%
28	528	498	78	276	1386713	1237630	149083	11%
29	529	398	70	225	1211101	1096821	114280	9%
30	530	325	81	151	1358431	1247797	110634	8%
31	531	457	92	228	1674928	1467422	207506	12%
32	532	507	78	445	1381306	1017380	363926	26%
33	533	375	73	269	1189562	1009716	179846	15%
34	534	412	79	228	1360001	1088107	271894	20%
35	535	475	83	265	1561262	1363979	197283	13%
36	536	503	73	470	1321206	852290	468916	35%
37	537	304	74	120	1026084	941494	84590	8%
38	538	524	78	486	1292882	860024	432858	33%
39	539	380	72	258	1138177	947787	190390	17%

<b>Instância</b>	<b>Semente</b>	<b>Tempo de execução (milissegundos)</b>	<b>Número de Falhas</b>	<b>Número de Trocas Efetivas</b>	<b>Valor sem heurística</b>	<b>Valor com heurística</b>	<b>Economia</b>	<b>% de economia</b>
40	540	396	81	205	1465290	1293610	171680	12%
41	541	392	76	291	1338009	1085065	252944	19%
42	542	606	98	353	1630612	1371991	258621	16%
43	543	301	81	201	1131283	964411	166872	15%
44	544	499	78	370	1249377	966975	282402	23%
45	545	456	78	277	1347750	1126127	221623	16%
46	546	577	92	445	1488018	1139339	348679	23%
47	547	427	101	219	1860781	1553659	307122	17%
48	548	369	73	241	1353105	1078181	274924	20%
49	549	543	92	324	1683578	1436822	246756	15%
50	550	519	95	279	1516249	1254351	261898	17%
51	551	265	84	82	1276500	1173985	102515	8%
52	552	354	88	235	1127069	956131	170938	15%
53	553	449	71	308	1065101	877111	187990	18%
54	554	593	87	431	1634977	1281229	353748	22%
55	555	531	83	348	1434353	1148550	285803	20%
56	556	491	82	367	1430924	1142319	288605	20%
57	557	476	81	282	1468617	1209820	258797	18%
58	558	528	72	480	1296482	995656	300826	23%
59	559	486	97	332	1556345	1181521	374824	24%
60	560	360	78	192	1273259	1092169	181090	14%
61	561	413	68	388	1097460	852808	244652	22%
62	562	413	77	188	1299929	1121652	178277	14%
63	563	452	91	150	1770798	1721125	49673	3%
64	564	570	86	402	1717984	1342654	375330	22%
65	565	379	69	232	1130495	952898	177597	16%
66	566	382	81	271	1185465	956222	229243	19%
67	567	496	90	335	1484524	1196118	288406	19%
68	568	431	86	262	1317399	1119333	198066	15%
69	569	432	73	425	1174881	797693	377188	32%
70	570	408	86	130	1331736	1278773	52963	4%
71	571	492	93	341	1731667	1335530	396137	23%
72	572	372	80	206	1405601	1203937	201664	14%
73	573	474	82	278	1498597	1271600	226997	15%
74	574	376	72	232	1205610	1027370	178240	15%
75	575	613	86	412	1511899	1117201	394698	26%
76	576	574	91	370	1602480	1351179	251301	16%
77	577	277	86	114	1605180	1466781	138399	9%
78	578	520	89	394	1560240	1163538	396702	25%
79	579	446	72	347	1082718	841592	241126	22%
80	580	463	61	340	891737	720273	171464	19%
81	581	440	90	272	1403930	1242911	161019	11%

<b>Instância</b>	<b>Semente</b>	<b>Tempo de execução (milissegundos)</b>	<b>Número de Falhas</b>	<b>Número de Trocas Efetivas</b>	<b>Valor sem heurística</b>	<b>Valor com heurística</b>	<b>Economia</b>	<b>% de economia</b>
82	582	409	84	233	1448104	1288310	159794	11%
83	583	496	69	294	1285135	989125	296010	23%
84	584	424	72	266	1250909	1040187	210722	17%
85	585	324	65	217	997272	863116	134156	13%
86	586	443	83	246	1412052	1162299	249753	18%
87	587	376	71	252	1215904	975263	240641	20%
88	588	292	84	111	1439735	1349375	90360	6%
89	589	449	81	298	1371287	1020329	350958	26%
90	590	277	78	53	1358540	1342821	15719	1%
91	591	572	88	443	1331715	1056823	274892	21%
92	592	442	87	315	1357166	1084555	272611	20%
93	593	415	86	168	1579349	1472360	106989	7%
94	594	672	90	552	1494269	1108029	386240	26%
95	595	378	80	262	1383986	1094801	289185	21%
96	596	443	67	322	1281949	942459	339490	26%
97	597	369	65	288	1184202	978429	205773	17%
98	598	437	82	263	1556957	1292983	263974	17%
99	599	462	72	233	1308650	1132160	176490	13%
100	600	490	82	369	1443134	1124007	319127	22%

Para 500 atividades.

Instância	Semente	Tempo de execução (milissegundos)	Número de Falhas	Número de Trocas Efetivas	Valor sem heurística	Valor com heurística	Economia	% de economia
1	601	1061	99	337	2161127	1826520	334607	15%
2	602	689	97	140	1944317	1819604	124713	6%
3	603	914	97	359	1950052	1642241	307811	16%
4	604	677	89	154	1954242	1821374	132868	7%
5	605	618	102	206	2120903	1811831	309072	15%
6	606	800	90	262	1795421	1581389	214032	12%
7	607	1008	109	287	2381534	2022708	358826	15%
8	608	761	97	335	1921069	1574784	346285	18%
9	609	1037	93	527	1797032	1229808	567224	32%
10	610	1071	92	512	2103950	1570216	533734	25%
11	611	948	97	366	2136362	1775621	360741	17%
12	612	897	95	394	2104427	1631564	472863	22%
13	613	624	93	175	1948840	1749948	198892	10%
14	614	767	92	363	2044297	1734636	309661	15%
15	615	1097	123	507	2600137	2076179	523958	20%
16	616	803	91	249	1962647	1842307	120340	6%
17	617	1037	114	451	2783531	2330890	452641	16%
18	618	855	94	337	1735849	1427421	308428	18%
19	619	1087	97	569	2122222	1582382	539840	25%
20	620	874	106	330	2515989	2182274	333715	13%
21	621	645	97	195	1932097	1709624	222473	12%
22	622	697	79	309	1702880	1418347	284533	17%
23	623	396	92	13	1908392	1905213	3179	0%
24	624	518	98	166	2090042	1934312	155730	7%
25	625	758	95	301	2066546	1762062	304484	15%
26	626	1041	108	468	2183242	1839695	343547	16%
27	627	727	106	400	2165289	1702479	462810	21%
28	628	783	106	336	1962840	1654216	308624	16%
29	629	883	115	429	2356850	1707711	649139	28%
30	630	508	86	189	2038463	1806260	232203	11%
31	631	980	109	405	2412048	2048403	363645	15%
32	632	942	103	355	2254225	1887707	366518	16%
33	633	645	81	308	1633270	1273697	359573	22%
34	634	951	115	528	2296395	1817298	479097	21%
35	635	1009	110	434	2338115	1923612	414503	18%
36	636	865	87	490	1802834	1379090	423744	24%
37	637	669	90	418	1663042	1261750	401292	24%
38	638	922	98	549	2051028	1364998	686030	33%
39	639	977	111	348	2587132	2254540	332592	13%

Instância	Semente	Tempo de execução (milissegundos)	Número de Falhas	Número de Trocas Efetivas	Valor sem heurística	Valor com heurística	Economia	% de economia
40	640	892	120	313	2525431	2123896	401535	16%
41	641	841	92	457	1803762	1504420	299342	17%
42	642	709	97	336	1872772	1524172	348600	19%
43	643	723	89	257	1780540	1584700	195840	11%
44	644	991	115	293	2620950	2510255	110695	4%
45	645	912	102	454	2406375	1890812	515563	21%
46	646	879	111	445	2207090	1806483	400607	18%
47	647	914	103	433	2354769	1938159	416610	18%
48	648	709	103	316	2204891	1719344	485547	22%
49	649	589	94	168	2071702	1897680	174022	8%
50	650	825	92	411	1850012	1591708	258304	14%
51	651	845	91	454	1860122	1455776	404346	22%
52	652	661	89	172	1800924	1597029	203895	11%
53	653	1125	110	463	2624428	2149729	474699	18%
54	654	840	102	293	2136805	1918077	218728	10%
55	655	785	102	470	2178956	1656680	522276	24%
56	656	729	84	298	1731191	1467249	263942	15%
57	657	794	97	444	2080519	1597187	483332	23%
58	658	841	103	367	2202143	1851062	351081	16%
59	659	761	91	395	1822948	1395803	427145	23%
60	660	748	102	351	1900942	1565607	335335	18%
61	661	872	95	452	1653642	1318690	334952	20%
62	662	802	93	574	1806449	1280983	525466	29%
63	663	885	94	381	2216531	1827780	388751	18%
64	664	752	95	217	2124104	1912890	211214	10%
65	665	957	102	443	2336584	1936375	400209	17%
66	666	950	94	477	2011069	1616386	394683	20%
67	667	868	83	374	1753972	1512152	241820	14%
68	668	747	102	431	2150705	1733382	417323	19%
69	669	977	98	490	2197071	1738141	458930	21%
70	670	958	91	552	1818777	1377491	441286	24%
71	671	909	107	412	2308455	1831995	476460	21%
72	672	581	91	155	1884032	1678367	205665	11%
73	673	751	89	384	1806123	1490826	315297	17%
74	674	735	111	258	2149550	1858914	290636	14%
75	675	745	101	375	1942390	1576464	365926	19%
76	676	734	96	300	1863702	1643691	220011	12%
77	677	842	96	378	2189113	1803952	385161	18%
78	678	538	103	72	2319575	2291287	28288	1%
79	679	938	115	463	2295746	1969122	326624	14%
80	680	1038	112	569	2339062	1829603	509459	22%
81	681	962	107	436	2228185	1775768	452417	20%



<b>Instância</b>	<b>Semente</b>	<b>Tempo de execução (milissegundos)</b>	<b>Número de Falhas</b>	<b>Número de Trocas Efetivas</b>	<b>Valor sem heurística</b>	<b>Valor com heurística</b>	<b>Economia</b>	<b>% de economia</b>
82	682	789	96	315	1940459	1671089	269370	14%
83	683	935	109	396	2325250	2079607	245643	11%
84	684	736	99	415	1875469	1596264	279205	15%
85	685	1035	101	437	2047216	1627365	419851	21%
86	686	837	106	259	2216886	2019334	197552	9%
87	687	768	92	307	2029321	1799352	229969	11%
88	688	875	107	327	2189760	1825726	364034	17%
89	689	920	108	351	2546075	2070814	475261	19%
90	690	901	100	493	2100625	1587168	513457	24%
91	691	980	93	464	1945852	1583220	362632	19%
92	692	801	85	363	1706943	1517974	188969	11%
93	693	874	99	427	1912545	1545432	367113	19%
94	694	680	91	296	1933286	1650630	282656	15%
95	695	974	104	579	2128411	1532511	595900	28%
96	696	950	111	463	2395637	1854716	540921	23%
97	697	791	93	301	1832470	1550363	282107	15%
98	698	676	92	313	1971624	1666395	305229	15%
99	699	778	90	346	1897448	1590736	306712	16%
100	700	694	117	179	2390460	2186305	204155	9%

Para 1000 atividades.

Instância	Semente	Tempo de execução (milissegundos)	Número de Falhas	Número de Trocas Efetivas	Valor sem heurística	Valor com heurística	Economia	% de economia
1	701	6950	198	717	7968837	6919951	1048886	13%
2	702	6412	201	880	8759850	7002263	1757587	20%
3	703	6027	195	666	8142051	7272385	869666	11%
4	704	7204	213	924	8201512	6727988	1473524	18%
5	705	5497	204	651	7882406	6037732	1844674	23%
6	706	6069	200	521	8952009	8160809	791200	9%
7	707	7231	200	995	8440802	7125018	1315784	16%
8	708	7543	210	960	9243828	7828236	1415592	15%
9	709	6056	207	714	8013788	6805524	1208264	15%
10	710	6996	195	966	7715451	6318527	1396924	18%
11	711	6066	205	507	8875592	8363198	512394	6%
12	712	5652	185	442	8560527	7749486	811041	9%
13	713	6907	205	776	8637618	7660594	977024	11%
14	714	5717	185	817	7841492	6241862	1599630	20%
15	715	6335	195	628	8909529	8183630	725899	8%
16	716	4934	201	564	8096106	6760492	1335614	16%
17	717	7580	209	975	9049794	7408135	1641659	18%
18	718	4899	173	457	7244220	6805534	438686	6%
19	719	6390	205	592	8585045	7950084	634961	7%
20	720	6770	205	649	8367942	7602411	765531	9%
21	721	6433	198	729	8156219	7144993	1011226	12%
22	722	7943	212	1070	9378631	7637877	1740754	19%
23	723	7133	210	996	8582568	7049804	1532764	18%
24	724	6650	207	762	8959841	7764115	1195726	13%
25	725	6314	190	632	8510357	7291790	1218567	14%
26	726	6837	208	877	8915121	7196952	1718169	19%
27	727	7455	207	860	9462805	8049458	1413347	15%
28	728	4184	200	373	8129521	7222552	906969	11%
29	729	6898	209	862	8901148	7436314	1464834	16%
30	730	6660	208	641	9189508	7934309	1255199	14%
31	731	5957	203	522	8703881	7785252	918629	11%
32	732	4671	174	283	7316840	6771375	545465	7%
33	733	6140	199	462	8951875	8566301	385574	4%
34	734	7677	208	993	8685446	7091640	1593806	18%
35	735	7501	220	824	9737617	8443540	1294077	13%
36	736	6933	203	791	9374986	8027567	1347419	14%
37	737	5220	213	261	9728162	9351219	376943	4%
38	738	6950	203	727	9121576	7642106	1479470	16%
39	739	5392	209	592	8334232	7150380	1183852	14%

<b>Instância</b>	<b>Semente</b>	<b>Tempo de execução (milissegundos)</b>	<b>Número de Falhas</b>	<b>Número de Trocas Efetivas</b>	<b>Valor sem heurística</b>	<b>Valor com heurística</b>	<b>Economia</b>	<b>% de economia</b>
40	740	5244	188	453	7970000	7062694	907306	11%
41	741	5963	189	675	8335923	7346101	989822	12%
42	742	6319	177	797	7087958	5875111	1212847	17%
43	743	6448	207	727	8575297	7338831	1236466	14%
44	744	7018	191	876	8483751	6966845	1516906	18%
45	745	5449	208	394	9013813	8235675	778138	9%
46	746	5257	190	406	8085487	7498069	587418	7%
47	747	6325	206	635	8806024	7278531	1527493	17%
48	748	7692	219	1049	9362389	7688563	1673826	18%
49	749	6144	206	556	9830701	8851957	978744	10%
50	750	6602	221	606	9194426	8298812	895614	10%
51	751	6118	210	671	8803793	7379112	1424681	16%
52	752	7069	189	946	7999357	6827277	1172080	15%
53	753	6723	197	727	9051637	7550637	1501000	17%
54	754	6902	204	945	7794025	5909445	1884580	24%
55	755	7662	210	778	9307443	8139408	1168035	13%
56	756	6123	182	727	7726226	6854724	871502	11%
57	757	5621	186	665	7348812	6156333	1192479	16%
58	758	4827	175	500	7443445	6489944	953501	13%
59	759	6069	198	788	7832279	6506338	1325941	17%
60	760	6441	194	687	8290948	7037530	1253418	15%
61	761	6492	219	691	9051848	8383113	668735	7%
62	762	6217	196	772	7979403	6544663	1434740	18%
63	763	7017	187	964	8321902	7055241	1266661	15%
64	764	5806	193	527	8230694	7653643	577051	7%
65	765	6610	227	705	10025763	8490743	1535020	15%
66	766	7161	207	950	8150022	6724996	1425026	17%
67	767	5735	193	661	8450111	7316160	1133951	13%
68	768	7348	185	1055	7769571	6170924	1598647	21%
69	769	5598	206	463	8616631	8182242	434389	5%
70	770	5857	168	866	7145258	5919942	1225316	17%
71	771	7940	211	1106	9209744	7239416	1970328	21%
72	772	6317	214	823	8960860	7239203	1721657	19%
73	773	5953	209	532	9282805	8243249	1039556	11%
74	774	6531	231	721	9360946	7844377	1516569	16%
75	775	6386	196	610	8142887	7430543	712344	9%
76	776	5902	217	802	8693220	6963758	1729462	20%
77	777	6142	195	653	8523216	7554739	968477	11%
78	778	6190	192	727	8069687	6805999	1263688	16%
79	779	4714	192	401	8337053	7407994	929059	11%
80	780	6060	205	716	8778805	7463712	1315093	15%
81	781	7385	200	791	8538470	7745814	792656	9%

<b>Instância</b>	<b>Semente</b>	<b>Tempo de execução (milissegundos)</b>	<b>Número de Falhas</b>	<b>Número de Trocas Efetivas</b>	<b>Valor sem heurística</b>	<b>Valor com heurística</b>	<b>Economia</b>	<b>% de economia</b>
82	782	6029	212	738	9034282	7855178	1179104	13%
83	783	6917	210	696	8930814	7932223	998591	11%
84	784	5290	180	674	7167436	6062807	1104629	15%
85	785	6813	207	718	8944207	8091604	852603	10%
86	786	7392	206	902	8713897	7775288	938609	11%
87	787	6828	196	672	8168750	7371524	797226	10%
88	788	6667	195	772	8370660	7330938	1039722	12%
89	789	5620	187	574	6919650	6195286	724364	10%
90	790	4665	204	224	7748654	7503457	245197	3%
91	791	6862	190	907	7763580	6340584	1422996	18%
92	792	8028	189	1042	8344304	6766000	1578304	19%
93	793	6896	201	1006	8833920	7107814	1726106	20%
94	794	7988	212	915	8921956	7620664	1301292	15%
95	795	5076	186	660	7652080	6333509	1318571	17%
96	796	6597	201	705	8504827	7500633	1004194	12%
97	797	5959	194	492	8783100	7735711	1047389	12%
98	798	5205	209	533	8557131	7660100	897031	10%
99	799	4389	196	367	8112421	7564528	547893	7%
100	800	7504	199	1105	8717813	7083970	1633843	19%