

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

**CLAUS REGINATO LEME**

**ESTUDO COMPARATIVO DE MÉTODOS HEURÍSTICOS PARA O  
PROBLEMA *NO-WAIT FLOWSHOP* PERMUTACIONAL NA  
MINIMIZAÇÃO DO TEMPO TOTAL DA PROGRAMAÇÃO E TEMPO  
TOTAL DE FLUXO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PONTA GROSSA**

**2016**

**CLAUS REGINATO LEME**

**ESTUDO COMPARATIVO DE MÉTODOS HEURÍSTICOS PARA O  
PROBLEMA *NO-WAIT FLOWSHOP* PERMUTACIONAL NA  
MINIMIZAÇÃO DO TEMPO TOTAL DA PROGRAMAÇÃO E TEMPO  
TOTAL DE FLUXO**

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. Fábio José Ceron Branco

**PONTA GROSSA**

**2016**

	<p style="text-align: center;"><b>Ministério da Educação</b> <b>1 UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ</b> <b>2 CÂMPUS PONTA GROSSA</b> Departamento Acadêmico de Engenharia de Produção</p>	
---	--	---

## TERMO DE APROVAÇÃO DE TCC

Estudo comparativo de métodos heurísticos para o problema no-wait flowshop permutacional na minimização do tempo total da programação e tempo total de fluxo.

por  
*Claus Reginato Leme*

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 28 de Novembro de 2016 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.

Fábio José Ceron Branco  
**Prof. Dr.**  
Prof. Orientador

Everton Luiz de Melo  
**Prof. Dr.**  
Membro titular

Shih Yung Chin  
**Prof. Dr.**  
Membro titular

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso (ou Programa)”.

## **AGRADECIMENTO**

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus pais, pela determinação, por me apoiarem em todas as minhas decisões e por estarem sempre presentes em todas as etapas da minha vida. A minha irmã e meu cunhado, que mesmo estando longe sempre me deram forças pra continuar e me apoiaram em todos os momentos durante todo o período acadêmico.

Aos meus amigos, que estiveram comigo desde o começo da faculdade, passando por momentos de dificuldade e de alegria e mesmo assim estavam todos juntos se apoiando e se ajudando para continuar e nunca desistir.

Ao meu orientador, Prof. Fabio José Ceron Branco, pela confiança e por todo o apoio e dedicação na elaboração deste trabalho. E aos professores desta instituição que de alguma forma estiveram envolvidos na minha formação profissional e pessoal.

## RESUMO

LEME, Claus Reginato. **Estudo comparativo de métodos heurísticos para o problema no-wait *flowshop* permutacional na minimização do tempo total da programação e tempo total de fluxo.** 2016. 107 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, ano de defesa.

Os processos industriais necessitam uma programação da produção eficiente. Essa atividade consiste na alocação dos recursos produtivos, com o objetivo de executar determinadas tarefas em um período de tempo definido. Existem diferentes tipos de recursos a serem administrados e também a quantidade de possíveis soluções aumenta exponencialmente com o aumento da quantidade de tarefas e máquinas presentes no sistema, o que torna a tarefa de programar a produção uma das atividades mais complexas do planejamento da produção. O objetivo deste trabalho é encontrar qual o melhor método heurístico a ser utilizado para minimizar o tempo total de processamento (*makespan*) e o tempo total de fluxo (*flowtime*). Para isso serão analisados métodos heurísticos que possam solucionar o problema da programação da produção em ambiente *No-Wait Flowshop*. A experimentação computacional mostrará qual o melhor método heurístico a ser utilizado para a resolução deste problema.

**Palavras-chave:** Programação da produção. Métodos heurísticos. *Makespan*. *Flowshop*.

## ABSTRACT

LEME, Claus Reginato. **Heuristic method comparative study for the no-wait permutational Flowshop problem in the reduction of the total processing time and total time of working tasks**. 2016. 107 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Federal Technology University - Parana. Ponta Grossa, 2015.

Industrial processes need an efficient scheduling. This work consists in the allocation of productive resources, with a view to execute a certain amount of tasks in a defined period of time. There are different kinds of resources to be administrated and also, the amount of possible solutions increases rapidly with the rise of the amount of tasks and machines presented in the system, what makes the production programation task one of the most complex activities in the production planning. The goal of this work is to find the best heuristic method to be used to minimize the total processing time (makespan) and total time of working tasks (flowtime). For this, heuristic methods will be analysed in order to solve the production programation problem in No-Wait Flowshop environment. The computational trial will show the best heuristic method to be used for the resolution of this problem.

**Keywords:** Scheduling. Heuristic methods. Makespan. Flowshop.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Relação entre as classes de problemas de Programação da produção ....	16
Figura 2 - Gráfico de Gantt para as tarefas 3,2,4,1 .....	19
Figura 3 – Gráfico de Gantt: LPT. ....	30
Figura 4 – Gráfico de Gantt: LPT com restrição no-wait. ....	31
Figura 5 – Gráfico de Gantt: SPT.....	32
Figura 6 – Gráfico de Gantt: SPT com restrição no-wait. ....	32
Figura 7 – Heurística Triangular. ....	33
Figura 8 – Gráfico de Gantt: Triangular.....	34
Figura 9– Gráfico de Gantt: Triangular com restrição no-wait.....	34
Figura 10 – Heurística Triangular Invertida. ....	35
Figura 11 – Gráfico de Gantt: Triangular Invertida .....	35
Figura 12 – Gráfico de Gantt: Triangular Invertida com restrição no-wait. ....	36
Figura 13 – Gráfico de Gantt: NEH. ....	37
Figura 14 – Gráfico de Gantt: NEH com restrição no-wait. ....	37
Figura 15 – Desvio Relativo Médio - LPT .....	41
Figura 16 – Desvio Relativo Médio – SPT.....	42
Figura 17 – Desvio Relativo Médio – Randômica.....	43
Figura 18 – Desvio Relativo Médio – Triangular.....	45
Figura 19 – Desvio Relativo Médio – Triangular Invertida.....	46
Figura 20 – Gráficos de Acumulado de Tarefa e Máquina para Porcentagem de Sucesso e Desvio Relativo Médio para valor de parâmetro $\alpha = 0,0$ .....	55
Figura 21 – Gráficos de Acumulado de Tarefa e Máquina para Porcentagem de Sucesso e Desvio Relativo Médio para valor de parâmetro $\alpha = 0,1$ .....	55
Figura 22 – Gráficos de Acumulado de Tarefa e Máquina para Porcentagem de Sucesso e Desvio Relativo Médio para valor de parâmetro $\alpha = 0,2$ .....	56
Figura 23– Gráficos de Acumulado de Tarefa e Máquina para Porcentagem de Sucesso e Desvio Relativo Médio para valor de parâmetro $\alpha = 0,3$ .....	56
Figura 24 – Gráficos de Acumulado de Tarefa e Máquina para Porcentagem de Sucesso e Desvio Relativo Médio para valor de parâmetro $\alpha = 0,4$ .....	57
Figura 25 – Gráficos de Acumulado de Tarefa e Máquina para Porcentagem de Sucesso e Desvio Relativo Médio para valor de parâmetro $\alpha = 0,5$ .....	57
Figura 26 – Gráficos de Acumulado de Tarefa e Máquina para Porcentagem de Sucesso e Desvio Relativo Médio para valor de parâmetro $\alpha = 0,6$ .....	58
Figura 27 – Gráficos de Acumulado de Tarefa e Máquina para Porcentagem de Sucesso e Desvio Relativo Médio para valor de parâmetro $\alpha = 0,7$ .....	58
Figura 28 – Gráficos de Acumulado de Tarefa e Máquina para Porcentagem de Sucesso e Desvio Relativo Médio para valor de parâmetro $\alpha = 0,8$ .....	59
Figura 29 – Gráficos de Acumulado de Tarefa e Máquina para Porcentagem de Sucesso e Desvio Relativo Médio para valor de parâmetro $\alpha = 0,9$ .....	59

Figura 30 – Gráficos de Acumulado de Tarefa e Máquina para Porcentagem de Sucesso e Desvio Relativo Médio para valor de parâmetro  $\alpha = 1,0$ .....60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tempo de processamento das tarefas nas máquinas em unidades de tempo. ....	19
Tabela 2: Tempos de processamento das quatro tarefas em três máquinas .....	30
Tabela 3 – Comparação entre as heurísticas LPT + NEH, SPT + NEH, Randômica + NEH, Triangular + NEH e Triangular Invertida + NEH, com variação de $\alpha = 0$ à $\alpha = 0,1$ . ....	47
Tabela 4 – Comparação entre as heurísticas LPT + NEH, SPT + NEH, Randômica + NEH, Triangular + NEH e Triangular Invertida + NEH, com variação de $\alpha = 0,2$ à $\alpha = 0,3$ .....	48
Tabela 5 – Comparação entre as heurísticas LPT + NEH, SPT + NEH, Randômica + NEH, Triangular + NEH e Triangular Invertida + NEH, com variação de $\alpha = 0,4$ à $\alpha = 0,5$ .....	49
Tabela 6 – Comparação entre as heurísticas LPT + NEH, SPT + NEH, Randômica + NEH, Triangular + NEH e Triangular Invertida + NEH, com variação de $\alpha = 0,6$ à $\alpha = 0,7$ .....	50
Tabela 7 – Comparação entre as heurísticas LPT + NEH, SPT + NEH, Randômica + NEH, Triangular + NEH e Triangular Invertida + NEH, com variação de $\alpha = 0,8$ à $\alpha = 0,9$ .....	51
Tabela 8 – Comparação entre as heurísticas LPT + NEH, SPT + NEH, Randômica + NEH, Triangular + NEH e Triangular Invertida + NEH, com variação de $\alpha = 1,0$ .....	52

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>8</b>
1.1 OBJETIVOS .....	9
1.1.1 Objetivo Geral .....	9
1.1.2 Objetivos Específicos .....	9
1.1.3 Justificativa .....	10
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>11</b>
2.1 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO .....	11
2.2 PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO .....	13
2.2.1 Programação da produção em máquinas .....	14
2.3 <i>FLOWSHOP</i> .....	18
2.3.1 Definição .....	18
2.3.2 Principais Heurísticas da Literatura .....	19
2.4 <i>NO-WAIT FLOWSHOP</i> .....	22
2.4.1 Definição .....	23
2.4.2 Principais Heurísticas da literatura .....	23
2.5 <i>NO-IDLE FLOWSHOP</i> .....	26
2.5.1 Definição .....	26
2.5.2 Principais Heurísticas da Literatura .....	26
<b>3 DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>29</b>
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA .....	29
3.2 HEURÍSTICAS UTILIZADAS .....	29
3.2.1 Heurísticas de Ordenação .....	30
3.2.1.1 Heurística <i>Longest Processing Time</i> (LPT) .....	30
3.2.1.2 Heurística <i>Shortest Processing Time</i> (SPT) .....	31
3.2.1.3 Heurística Randômica .....	32
3.2.1.4 Heurística Triangular .....	32
3.2.1.5 Heurística Triangular Invertida .....	34
3.2.2 Heurística Construtiva .....	36
3.2.2.1 NEH .....	36
3.3 EXPERIMENTAÇÃO COMPUTACIONAL .....	37
<b>4 ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	<b>40</b>
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	<b>61</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>63</b>
<b>APÊNDICES</b> .....	<b>70</b>

### 3 INTRODUÇÃO

O mercado atual está cada vez mais disputado, dessa maneira as empresas buscam a todo o momento melhorar o seu processo produtivo, melhorar a qualidade de seus produtos, reduzir custos e tempos de produção e, assim, aumentar sua eficiência para manter-se competitivas diante de seus concorrentes.

Neste cenário se encaixa a programação da produção, pois se efetivamente estudada pode reduzir o tempo de produção e proporcionar benefícios como o aumento da confiabilidade no prazo de entrega dos produtos, a melhora na eficiência da empresa e redução nos custos de produção.

Um problema de programação da produção frequente é o *Flowshop*, em que um conjunto de  $n$  tarefas deve ser produzido, na mesma sequência, por um conjunto de  $m$  máquinas. Caso a ordem de produção seja a mesma em todas as máquinas tem-se o ambiente de produção *Flowshop* permutacional. O objetivo do problema é obter um sequenciamento de tarefas que possa atingir uma determinada função-objetivo. As mais comuns são o tempo total da programação (chamado na literatura como *makespan*) e o tempo total de fluxo (denominado *flowtime*). Dentro do problema do *flowshop* pode existir uma restrição chamada *no-wait flowshop*, que não é permitido que a tarefa tenha algum tempo ocioso durante o seu processamento, ou seja, a operação  $i + 1$  tem que ser iniciada logo após o término da operação  $i$ .

Segundo Garey e Johnson (1979), a programação de produção em ambiente *flowshop* é considerada *NP-hard*, pois devido à complexidade do problema, o tempo para obter uma solução ótima para problemas de porte razoável seria alto e como o tempo disponível para a tomada de decisão dentro de uma empresa geralmente é pequeno, são utilizados métodos heurísticos, que possibilitam soluções viáveis em um espaço de tempo reduzido. De acordo com Scardoelli (2006), os métodos heurísticos tem sido amplamente estudados e aplicados, para obtenção de soluções viáveis e, as vezes, muito próximas das soluções ótimas em um espaço de tempo aceitável.

Desta forma, durante o trabalho serão realizadas análises dos métodos heurísticos construtivos (aqueles que inserem tarefa a cada iteração até obter a solução final), para propor qual o melhor método para a resolução do problema, que

será realizada por uma comparação entre os tempos de produção antes e depois da utilização do método.

Este texto foi estruturado da seguinte forma. O primeiro capítulo é uma introdução que apresenta uma contextualização geral sobre programação da produção, além dos objetivos e justificativas para a realização deste trabalho. No segundo capítulo é feito um referencial teórico sobre PCP, programação da produção, *flowshop* e suas possíveis variações. A metodologia, as heurísticas utilizadas e a descrição da experimentação computacional foram descritas no terceiro capítulo. O quarto capítulo apresenta as análises dos resultados. E por último, as conclusões da pesquisa e sugestões para trabalhos futuros são descritos no quinto capítulo.

Sendo assim, este trabalho tem a seguinte pergunta de partida: qual o melhor método heurístico construtivo a ser utilizado para minimizar a função objetivo bi critério de tempo total da programação da produção (*makespan*) e tempo total de fluxo (*flowtime*) com o objetivo de racionalizar a linha?

### 3.1 OBJETIVOS

#### 3.1.1 Objetivo Geral

Através do estudo comparativo encontrar qual o melhor método heurístico a ser utilizado para minimizar o tempo total de processamento (*makespan*) e o tempo total de fluxo (*flowtime*) em um ambiente *flowshop* com restrição *no-wait*.

#### 3.1.2 Objetivos Específicos

- Analisar e determinar um método heurístico que possa minimizar o tempo encontrado;
- Obter o tempo total de produção e tempo total de fluxo;
- Analisar o tempo total de produção e tempo total de fluxo.

### 3.1.3 Justificativa

As empresas procuram, a cada dia, aperfeiçoar o seu processo produtivo e reduzir os custos de produção, para aumentar a sua eficiência. Sendo assim, este trabalho é importante, pois permitirá que a empresa conheça melhor os seus tempos de produção e mostrará qual o melhor método heurístico que possa auxiliar esse processo.

Essa melhora nos tempos de produção resultará no aumento da confiabilidade no prazo de entrega dos pedidos, pois os produtos serão produzidos com antecedência. Além disso, aumentará a eficiência da empresa, pois poderão ser produzidos mais produtos num intervalo de tempo menor.

Para isso, será necessário realizar uma análise estatística dos métodos heurísticos construtivos, para então determinar qual o melhor método a ser utilizado para atingir os objetivos, mostrando assim a importância da realização deste trabalho.

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são apresentados os principais trabalhos sobre o tema proposto nesta pesquisa. Assim ele, é subdividido em cinco partes: Planejamento e controle da produção, programação da produção, *flowshop*, *no-wait flowshop* e *no-idle flowshop*.

### 4.1 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO

Segundo Lustosa *et al.* (2008), a produção de bens de consumo, da forma como é vista hoje, teve início com a revolução industrial com a possibilidade de produção e criação de meios para o consumo em massa. E os sistemas de Planejamento e Controle da Produção (PCP) evoluíram a partir da evolução da ciência da administração, apresentados por Frederick W. Taylor e Henry Fayol no início do século XX, até os dias atuais.

Ainda Segundo Lustosa *et al.* (2008), foram os princípios da administração científica de Taylor que permitiram o desenvolvimento de muitos outros trabalhos, entre eles o de Frank Gilbreth, que introduziu os estudos de movimentos e tempos, e o trabalho de Henry Gantt, que desenvolveu um sistema de programação da produção baseado em gráficos e cálculos, que é amplamente utilizado até hoje. Gantt, foi um dos primeiros a desenvolver um sistema de PCP baseado em restrições de tempo e capacidade, em que todos os cálculos eram feitos manualmente.

A produção de produtos ou serviços pode ser considerada um processo ou um conjunto de processos em que insumos são transformados em produtos ou serviços e, de acordo com Slack *et al.* (1999), a função do planejamento e controle da produção é garantir que esta ocorra de maneira correta e que os produtos e serviços sejam executados como se deve. Segundo Frascati (2014), o objetivo principal do PCP é balancear o suprimento e a demanda das operações e garantir que objetivos de desempenho de qualidade, custo e tempo sejam atingidos.

Uma divisão entre planejamento e controle não é clara, nem na teoria nem na prática, porém existem algumas características que os diferenciam (SLACK *et al.* 1999). Planejamento é o detalhamento formal do que pretende ser feito no futuro,

mas que não é garantido que realmente irá acontecer, pois há muitas variáveis que podem contribuir para que o plano não se realize. (SLACK *et al.* 1999). Já o Controle é a forma de lidar com essas variáveis, para que no curto prazo o planejamento se realize, ou ainda, as operações que precisam ser executadas para que os planos voltem ao que foi estabelecido anteriormente (SLACK *et al.* 1999).

Segundo Gigante (2010), o PCP deve gerenciar os processos produtivos, sujeito às restrições tecnológicas do ambiente, de modo a suprir as necessidades de clientes, e adequar a produção aos volumes de demanda e tempo de execução das atividades. Para conciliar tempo e volume são necessárias três atividades distintas, mas que se integram: carregamento, sequência e programação.

Para defini-las, Slack *et. al* (1999), afirmam que carregamento é o quanto de trabalho é alocado em cada parte da operação. Na atividade de sequenciamento são tomadas as decisões para definir em qual ordem as tarefas serão executadas. Para executar essa atividade o autor define algumas regras de prioridades, tais como:

- Prioridade ao consumidor, em que um consumidor importante tem preferência e os produtos dele são processados primeiro independente da ordem de chegada do pedido;
- Data prometida, significa que os produtos vão ser processados de acordo com a data de entrega dos pedidos;
- *Last-in-First-Out* (LIFO) neste método o último pedido recebido vai ser processado primeiro;
- *First-in-First-Out* (FIFO), neste método o primeiro pedido recebido vai ser processado primeiro. A última atividade a ser executada é a programação, em que é determinada a sequência das tarefas executadas, determinando quando as atividades serão iniciadas e finalizadas.

Sobre os níveis hierárquicos da organização, Lustosa *et al.* (2008) afirmam que o PCP atua em três estados: atividades de idealização, elaboração e, controle e operação. A atuação no nível de idealização ou estratégico acontece através da definição de políticas estratégicas a longo prazo; é nessa etapa que é desenvolvido o planejamento estratégico da produção. O nível tático, é responsável pelos planos de médio prazo, e o PCP atua no desenvolvimento do plano mestre de produção (PMP). Já o nível operacional contempla os planos a curto prazo; o PCP é responsável por administrar estoques, elaborar sequenciamento e emitir e liberar

ordens de compras, fabricação e montagem, constituindo a programação da produção.

## 4.2 PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO

Segundo Slack *et al.* (1999), a programação da produção é uma das atividades mais complexas no gerenciamento da produção, pois os programadores precisam lidar com diversos tipos de recursos simultaneamente. As máquinas têm diferentes capacidades e o pessoal, diferentes habilidades. O número de programações possíveis cresce à medida que o número de atividades e processos aumenta. Dessa forma, para  $n$  operações há  $n!$  ( $n$  fatorial) maneiras diferentes de programação dos trabalhos em um processo simples. Considerando mais que uma máquina ( $m > 1$ ) em ambiente flowshop, o número de programações possíveis aumenta para  $(n!)^m$ , onde  $n$  é o número de tarefas e  $m$  o número de máquinas.

De acordo com Lustosa *et al.* (2008), a programação da produção pode ser explicada como a determinação de quando e onde cada operação deve ser realizada e a determinação das datas de início e fim de cada operação que compõe um procedimento. Dessa forma, a programação da produção determina a alocação dos recursos para a realização das tarefas em um determinado período de tempo.

Assim, a programação da produção é baseada em fatores externos e internos e esses fatores acabam conduzindo a estratégias diferentes. Em relação aos fatores externos, a programação da produção busca atender a influência da demanda, que são as solicitações dos clientes, em quantidade e prazo. Já para os fatores internos, a programação está diretamente ligada à utilização eficiente dos recursos (GIGANTE, 2010).

Os principais objetivos da programação da produção segundo Gigante (2010) são:

- Entregar os produtos fabricados nas datas compromissadas ou estabelecidas;
- Distribuir a carga de trabalho de forma a obter máxima utilização dos recursos;
- Garantir que toda a matéria-prima e componentes comprados estejam disponíveis quando forem solicitados pela fabricação;

- Prever e evitar grande concentração de trabalho em poucas máquinas;
- Prever a ociosidade da capacidade produtiva;
- Estabelecer sequências de produção que minimizem o tempo de equipamento sem trabalho.

Segundo Kazama (2011), a programação da produção envolve um conjunto de tarefas a serem processadas, e cada tarefa, contém um conjunto de operações distintas. As operações necessitam de máquinas, recursos humanos e materiais que devem ser executadas em uma sequência viável. A programação sofre influência de diversos fatores, entre eles: prioridades de tarefas, prazos de entrega, restrições de custos, níveis de produção, disponibilidade e capacidade das máquinas, entre outros. A partir disso, a programação gerada determina uma sequência adequada de operações que resultará na conclusão de todas as tarefas no menor tempo possível.

Ainda segundo Kazama (2011), no nível da programação de produção, as decisões tomadas de maneira individual não possuem muita importância, porém um conjunto de decisões tomadas em um período de tempo, possui influência nos planos elaborados pelos níveis superiores na hierarquia e uma programação mal feita ou de baixa qualidade pode ocasionar diversos prejuízos, como: desperdício de recursos e materiais, atrasos nas datas de entregas, baixa qualidade de produtos, entre outros.

Segundo Kazama (2011), existem diversos métodos que foram desenvolvidos para executar a programação da produção e atingir os objetivos estabelecidos, são eles: Gráficos de Gantt, Diagrama de Montagem, Técnicas de Redes (PERT e COM), além de métodos heurísticos que apresentam soluções de sequenciamento da produção.

#### 4.2.1 Programação da produção em máquinas

Segundo Morton e Pentico (1993), os problemas relacionados a programação de operação em máquinas, geralmente se tornam complexos devido ao número de restrições que relacionam uma atividade a outra, recursos a atividades, um recurso ao outro e um recurso ou atividade a eventos externos ao sistema, como por exemplo uma restrição de precedência que determina quais atividade dever preceder outras. Também pode não ser possível dois recursos ao

mesmo tempo durante um determinado período de tempo ou em alguma atividade, ou algum recurso pode não estar disponível em período de tempo específico devido à manutenção. Ainda segundo os autores estes inter-relacionamentos podem tornar difícil a busca por uma solução exata ou até mesmo aproximada de um problema mais complexo, por isso é natural resolver primeiro versões mais simples. A sensibilidade da solução pode ser testada de acordo com a sua complexidade e soluções aproximadas podem ser encontradas.

De acordo com Pinedo (1995), o problema de operações em máquinas é descrito através da notação padrão de três campos,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , onde o campo  $\alpha$  corresponde ao ambiente das máquinas, o campo  $\beta$  corresponde as características do processo e o campo  $\gamma$  corresponde a função objetivo que nada mais é o critério de avaliação da programação. No presente trabalho o campo  $\alpha$  corresponde ao flowshop permutacional, o campo  $\beta$  corresponde a restrição no-wait e o campo  $\gamma$  está relacionado as funções objetivos de *makespan* e *flowtime*

Segundo Fuchigami (2010), a atividade de “*scheduling*” abrange a alocação (associação das tarefas nas máquinas), o sequenciamento (ordem das tarefas em cada máquina) e em seguida a programação (determinação dos tempos de início e término de cada operação).

A programação da produção ou *scheduling* é um processo de decisão que tem como objetivo otimizar a produção e onde o uso dos recursos está sujeito a uma série de restrições. Portanto esta programação diz respeito à alocação de recursos limitados para tarefas ao longo do tempo. As formas de recursos e tarefas podem ser diferentes, devido à variedade de indústrias e seus objetivos (KAZAMA, 2011).

Segundo Fuchigami (2005), os modelos de programação são aplicados em ambientes específicos, podendo inclusive ser uma adaptação de um modelo já existente ou até mesmo um procedimento híbrido. Dessa maneira, os problemas de programação podem ser classificados conforme MacCarthy e Liu (1993):

- Máquina única: Há apenas uma máquina disponível para o processamento das tarefas;
- Máquinas paralelas: Em um mesmo estágio de produção há mais de uma máquina disponível que pode executar qualquer tarefa.
- *Flowshop*: Todas as tarefas possuem o mesmo fluxo de processamento nas máquinas;

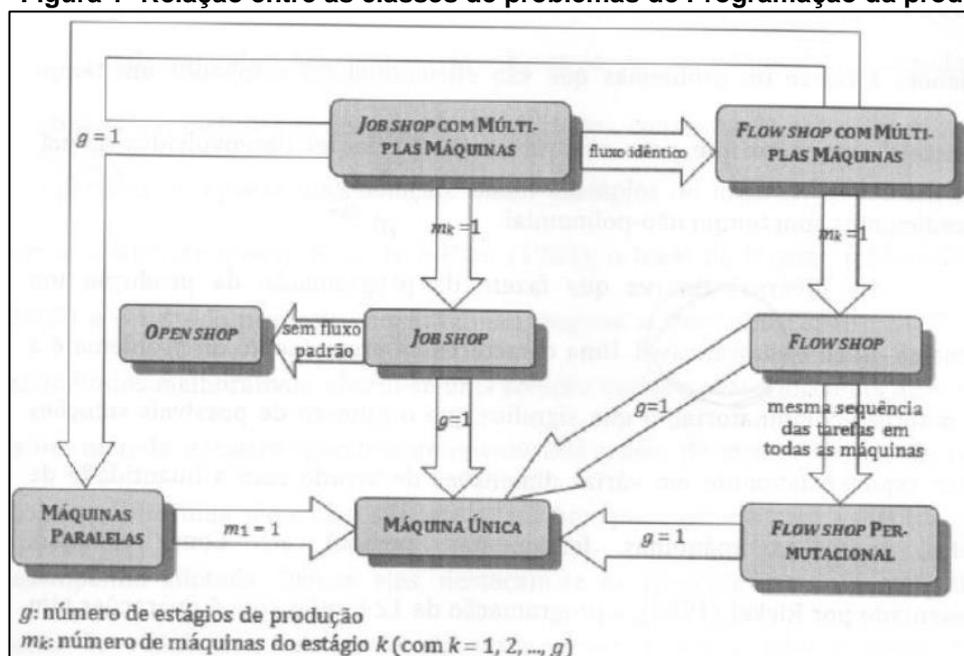
- *Flowshop* Permutacional: Um *flowshop* em que a ordem de processamento das tarefas em todas as máquinas é idêntica;
- *Jobshop*: Cada tarefa possui sua própria ordem de processamento nas máquinas;
- *Openshop*: Não há fluxo padrão especificado para nenhuma tarefa e cada estágio da produção possui apenas uma máquina;

Moccellin e Nagano (2003) mencionaram outras duas classificações que serão apresentadas a seguir:

- *Job shop* com múltiplas máquinas: *Job shop* onde existe um conjunto de máquinas paralelas em cada estágio de produção;
- *Flowshop* com múltiplas máquinas: *Flowshop* onde existe um conjunto de máquinas paralelas em cada estágio da produção.

A Figura 1 ilustra a relação entre os diferentes problemas de programação.

**Figura 1- Relação entre as classes de problemas de Programação da produção**



Fonte: Moccellin e Nagano 2003

Segundo Boiko (2008), tem sido desenvolvidos métodos para resolução dos problemas de programação de produção, e esses são de dois tipos basicamente: métodos de solução ótima e heurísticos. Ainda segundo Boiko (2008), os métodos de solução ótima geram uma programação ótima de acordo com a função objetivo adotada. Segundo Kazama (2011), métodos de solução ótima são programações

matemáticas, que resolvem os problemas de programação da produção, tais como a programação linear inteira, *branch-and-bound*, entre outros. Ainda segundo Kazama (2011), estes métodos são eficientes somente em casos de pequenas dimensões. Conforme o tamanho do problema aumenta (número de tarefas elevado), estes métodos acabam se tornando ineficazes, por isso surgiram os métodos heurísticos.

Segundo Morais (2008), os métodos heurísticos são mecanismos mais simples e flexíveis comparados aos métodos de solução exata, o que permite abordar problemas mais complexos. Segundo Fuchigami (2010), método heurístico é um processo de resolução de problema amparado em critérios racionais ou computacionais sem a preocupação de obter todas as possibilidades ou encontrar a melhor solução. Ainda segundo Fuchigami (2010), os métodos heurísticos visam encontrar uma solução viável, que seja próxima da ótima, cujo tempo computacional seja aceitável.

Segundo Scardoelli (2006), a classificação dos métodos heurísticos pode ser feita de diversas maneiras. Uma das classificações separa em Construtivos ou Melhorativos, sendo baseado de acordo com a forma de obtenção da solução. Ainda segundo Scardoelli (2006), os métodos construtivos têm como característica gerar apenas uma solução, a qual será a final do problema. De acordo com Gigante (2010) a solução pode ser gerada:

- Diretamente a partir da ordenação das tarefas segundo índices de prioridade calculados em função dos tempos de processamento das tarefas;
- Escolhendo-se a melhor sequência das tarefas a partir de um conjunto de sequências também obtidas utilizando-se índices de prioridade associados a cada tarefa;
- A partir da geração sucessiva de sequências parciais das tarefas (subsequências) até a obtenção de uma sequência completa através de algum critério de inserção de tarefas.

Segundo Kazama (2011), as heurísticas melhorativas, partem de uma solução factível e buscam uma solução melhor dentro de uma vizinhança, definida normalmente por meio de trocas de posições das tarefas na sequência.

### 4.3 FLOWSHOP

#### 4.3.1 Definição

Segundo Branco (2011), *flowshop* é um problema de programação da produção, onde  $n$  tarefas tem que ser processadas, na mesma sequência, em cada máquina de um conjunto de  $m$  máquinas distintas. E segundo Kazama (2011), *flowshop* permutacional acontece quando o conjunto de  $n$  tarefas é processado exatamente na mesma ordem em todas as  $m$  máquinas.

Ainda segundo Kazama (2011) o objetivo do *flowshop* é encontrar entre as  $n!$  possibilidades de sequenciamento de tarefas, aquela que possa otimizar a função objetivo previamente estabelecida. Segundo Morais (2008), as principais funções objetivo que são otimizadas são *makespan*, que é o tempo total de produção e o *flowtime*, que é o tempo médio de fluxo.

Segundo Gigante (2010), para modelagem deste tipo de problema, é necessário assumir algumas hipóteses:

- Cada máquina está disponível continuamente, sem interrupções;
- Cada operação tem, no máximo uma sucessora e uma predecessora (fluxo unidirecional);
- Cada operação pode ser executada por apenas uma máquina;
- Sempre que uma operação é iniciada, a mesma é finalizada sem que haja interrupção no seu processamento;
- Os tempos de preparação das máquinas (*setup*) estão inclusos nos tempos de processamento e estes independem das tarefas precedentes;
- Cada máquina processa apenas uma tarefa de cada vez e cada tarefa é processada por apenas uma máquina.

Fuchigami (2010) apresentou um problema numérico do problema de programação da produção em ambiente *flowshop*, com 4 tarefas e 3 máquinas, que é mostrado na Tabela 1.

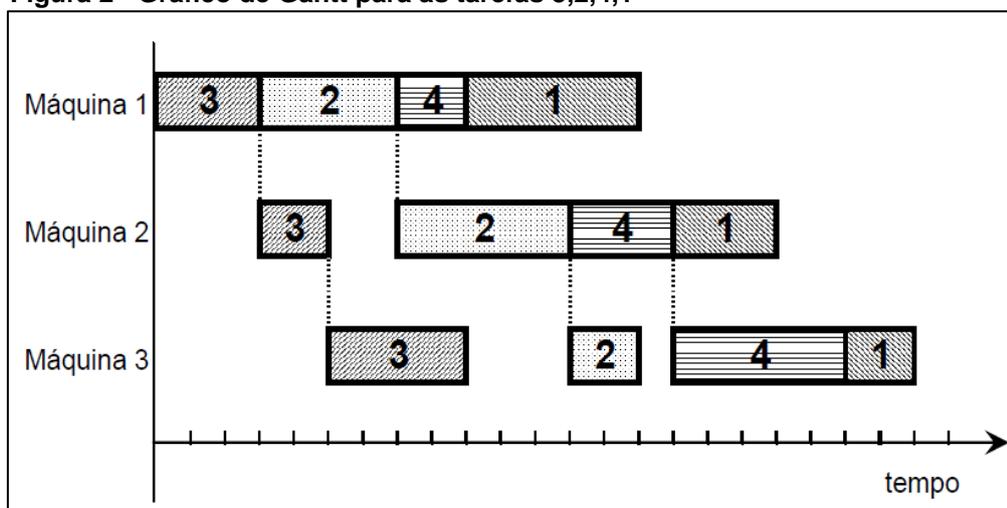
Tabela 1: Tempo de processamento das tarefas nas máquinas em unidades de tempo.

Máquinas	Tarefa 1	Tarefa 2	Tarefa 3	Tarefa 4
1	5	4	3	2
2	3	5	2	3
3	2	2	4	5

Fonte: Autoria própria, 2016

Para esse problema a sequência de programação da produção obtida foi 3,2,4,1 conforme mostrado no gráfico a seguir:

Figura 2 - Gráfico de Gantt para as tarefas 3,2,4,1



Fonte: Fuchigami (2010)

A partir do gráfico de Gantt da Figura 2 pode-se observar que o tempo total da produção (*makespan*) é o instante de término da tarefa um na máquina 3 e representa 22 unidades de tempo e o *flowtime* é calculado pela soma dos instantes de término das quatro tarefas na ultima máquina e nesse exemplo representa 65 unidades de tempo.

A seguir serão apresentadas as heurísticas propostas na literatura para a resolução de problemas de programação da produção em ambiente *flowshop*.

#### 4.3.2 Principais Heurísticas da Literatura

A seguir, serão apresentados os principais métodos heurísticos com o objetivo de minimização do tempo total de produção (*makespan*) e minimização do tempo total de fluxo (*flowtime*) para problemas de programação da produção *flowshop*.

Johnson (1954), foi o primeiro a trabalhar com o problema de programação da produção *flowshop*. Propôs um método de solução ótima para um problema de  $n$  tarefas sendo processadas em 2 máquinas. O método é realizado em três passos:

- Passo 1: Selecionar a tarefa com o menor tempo de duração;
- Passo 2: Se o menor tempo é da máquina 1, fazer esta tarefa primeiro. Caso contrário alocar esta tarefa por último.
- Passo 3: Repetir as etapas 1 e 2 para cada tarefa restante até todas as tarefas estarem alocadas.

Palmer (1965), propôs um método que estabelecia a sequência de processamento das tarefas nas máquinas através de um índice denominado *slope index*. Esse índice era calculado de modo a organizar as tarefas em ordem não crescente de seus tempos de processamento, ou seja, as tarefas em que os tempos de processamento tendem a crescer na sequência das máquinas, possuem um índice maior e, conseqüentemente, devem ocupar as primeiras posições na ordem de execução.

Campbell, Dudek e Smith (1970), propuseram um método conhecido como CDS. Esta heurística utiliza os princípios da regra de Johnson, e desenvolve várias sequências, a partir das quais pode-se escolher a melhor sequência que irá gerar o menor *makespan*. A heurística desenvolve  $m-1$  subproblemas de duas máquinas, onde  $m$  é o número de máquinas e utiliza a regra de Johnson para resolver esses subproblemas e gerar as sequências, para, em seguida, ser escolhida a melhor heurística gerada.

Dannenbring (1977) desenvolveu uma variação para o método CDS, e criou o método chamado Procedimento *Rapid Access* (RA), que combinou vantagens do *slope index* de Palmer (1965) com as vantagens do método CDS, conseguindo uma solução boa, de maneira simples e rápida. Dessa maneira, ao invés de resolver  $m-1$  problemas com 2 máquinas como era feito através do método CDS, a heurística RA resolve somente um problema, em que os tempos de processamento de cada tarefa em cada máquina são determinados através de um esquema de ponderação. Dannenbring (1977) criou ainda dois outros métodos, conhecidos como RAES e RACS, que garantem uma solução melhor. Em ambos os métodos a sequência gerada pelo método RA é utilizada como solução inicial e a partir dessa solução inicial, procuram encontrar sequências “vizinhas” que possam fornecer uma programação com menor tempo de duração. Sequência “vizinha” é uma nova

sequência das tarefas, alcançada a partir da solução inicial, através da troca de posições entre duas tarefas adjacentes.

Nawaz, Enscore Jr. e Ham (1983), criaram uma heurística conhecida como NEH. A heurística é composta de duas fases. Na primeira fase as tarefas são ordenadas de acordo com os valores não crescentes das somas dos tempos de processamento. Essa fase é denominada de indexação das tarefas. A segunda fase é determinada pela construção da sequência solução, em que de maneira gradual todas as tarefas da solução inicial são examinadas em todas as posições possíveis nas sequências parciais, escolhendo aquela que garante um menor tempo total de programação.

Na década posterior, Ho e Chang (1991) desenvolveram um método composto, em que a solução inicial é obtida por heurísticas já existentes como: Palmer, CDS, RA de Dannenbring (1977), entre outros. A partir da solução inicial, propuseram um procedimento de melhoria, baseado em relações entre os tempos de processamento das tarefas, analisadas em pares, ou seja, pelas as diferenças entre elas.

Rajendran (1993) apresentou um algoritmo heurístico com o objetivo de minimizar o tempo total de fluxo das tarefas. O método heurístico baseia-se na técnica de inserção de tarefas. O algoritmo usa uma relação de preferência como base para inserção de tarefas para obter uma programação completa que produz uma solução acurada. A relação de preferência acontece por meio da consideração da soma dos limitantes inferiores nos tempos de fluxo de uma tarefa para várias máquinas. O método apresentou bom desempenho em termos de qualidade da solução, porém apresentou alto esforço computacional.

Ho (1995) propôs um algoritmo heurístico para minimizar o tempo total de fluxo. O algoritmo é baseado em métodos de ordenação envolvendo dois importantes fatores: (1) obtenção de uma solução inicial e (2) melhoramento da solução inicial. Para obter a solução inicial o autor desenvolveu um índice para cada tarefa, baseado no impacto na data de início de sua sucessora imediata. A sequência inicial é obtida pela seleção das tarefas de acordo com a ordem crescente destes índices. Após a obtenção da solução inicial, métodos de ordenação são aplicados para obter a solução final.

Alguns anos depois, Koulamas (1998) propôs um método heurístico chamado HFC. Inspirado na regra de Johnson, o algoritmo HFC se baseia no

problema de duas máquinas para determinar a posição de duas tarefas quaisquer na sequência final. Dessa forma para um problema com 3 máquinas no algoritmo HFC, se a tarefa  $i$  precede  $j$  na sequência ótima, então para todos os casos M1-M2, M2-M3 e M1-M3 a tarefa  $i$  precede  $j$  em todas as fases.

Na década passada as pesquisas se intensificaram e, Nagano e Moccellin (2002), desenvolveram uma heurística denominada N&M, que apresentou uma mudança na fase de ordenação inicial em relação ao NEH. Esta alteração está baseada na ordenação das diferenças entre a soma dos tempos de processamento das tarefas nas máquinas e um limitante inferior criado pelos autores no trabalho.

Kalczynski e Kamburowski (2007) criaram um método heurístico denominado NEHKK, que apresentou uma modificação no processo de construção da sequência solução comparado com o NEH, em que nos casos de empate das soluções parciais nas sequências obtidas, um procedimento heurístico baseado na regra de Johnson é aplicado.

Nagano e Moccellin (2007) propuseram o *SPT-Flowtime*, um algoritmo heurístico para minimizar o tempo médio de fluxo em um ambiente de produção *flowshop* permutacional. Os resultados experimentais desse algoritmo apresentaram desempenho superior quando comparados a métodos anteriores, com soluções de boa qualidade e baixo esforço computacional.

Dong, Huang e Chen (2008) desenvolveram um método heurístico baseado no NEH, denominado de NEH-D. O método modificou a primeira fase do NEH, criando uma regra de prioridade que é a combinação linear da média e do desvio padrão dos tempos de processamento das tarefas. Essa combinação linear é utilizada para impor um valor para cada tarefa. Após essa etapa, as tarefas são arranjadas em ordem não crescente da regra de prioridade, sendo esta a primeira fase modificada do NEH.

No próximo item é apresentado uma variação do problema clássico, com a restrição da programação chamada *no-wait*.

#### 4.4 NO-WAIT FLOWSHOP

Neste tópico são apresentadas a definição do problema e as principais heurísticas propostas na literatura, em duas sub seções.

#### 4.4.1 Definição

Segundo Branco (2006), o problema *no-wait flowshop* tem como base um conjunto  $M$  de  $m$  máquinas e um conjunto  $J$  de  $n$  tarefas, sendo que cada tarefa possui  $m$  operações que são processadas nas  $m$  máquinas. Ainda segundo Branco (2006), em um problema clássico, uma tarefa só pode ser processada em uma máquina por vez e cada máquina pode processar somente uma operação ao mesmo tempo.

De acordo com Branco (2006) a restrição *no-wait* não permite que haja tempo de espera no processamento de uma tarefa de uma máquina para a próxima, sendo assim a principal característica do problema é que a operação  $i + 1$  de uma tarefa tem a obrigatoriedade de ser processada logo após o término da operação  $i$ . O único tempo de espera permitido é no início do processamento da tarefa que ocupa a primeira posição na sequência, na primeira máquina (Branco, 2011).

O objetivo, segundo Branco (2006), é encontrar uma sequência das tarefas de modo que elas possam ser executadas em todas as máquinas satisfazendo a condição de não permitir a espera no processamento de cada tarefa de uma determinada máquina para a seguinte e também minimizar o *makespan*. Ainda de acordo com o autor, as principais aplicações do problema são em indústrias química, metalúrgica, alimentícias, serviços, farmacêuticas e células flexíveis de manufatura. Nesses ambientes busca-se reduzir custos com inventários e planejar a produção de forma a atender a demanda sem que haja excessos ou falta de produto, para que assim possa maximizar a utilização das máquinas e reduzir-se o custo de acordo com a demanda do mercado.

#### 4.4.2 Principais Heurísticas da literatura

Uns dos pioneiros a estudar o problema de *no-wait flowshop*, com critério de minimização do tempo total de fluxo foram Deman e Baker (1974) que propuseram um algoritmo *branch and bound* para estabelecer todas as sequenciais parciais, considerando a utilização de limites inferiores. A conclusão dos autores foi que os resultados alcançados foram satisfatórios e que a solução do problema era

encontrada tão rapidamente quanto os problemas tradicionais que tinham como função objetivo a minimização do *makespan*.

Os trabalhos para minimização do *makespan* começaram a aparecer a partir de Bonney e Gundry (1976). Os autores utilizaram relações geométricas e extensões de algoritmos criados para problemas de máquina única. Eles estabeleceram os primeiros métodos heurísticos para solução do problema. King e Spachis (1980) apresentaram uma pesquisa com algumas ordenações, comparando e avaliando os resultados quanto ao porte dos problemas gerados. Papadimitriou e Kanellakis (1980) apresentaram uma pesquisa para problemas sobre *no-wait* de pequeno porte, como de 3 e 4 máquinas, em que mostram as dificuldades para utilizar o problema para portes maiores e deixam em aberto a questão de se encontrar soluções ótimas.

Kang e Markland (1988) abordaram a evolução dos métodos para o problema *no-wait flowshop*. Os autores escolheram na literatura diferentes algoritmos, cada um estruturado de maneira diferente, como *branch-and-bound*, caixeiro viajante, ou programação linear, com comparações para problemas de até 10 tarefas e 5 máquinas, considerados de pequeno porte. Dessa forma, o trabalho avaliou a qualidade da solução e também forneceu dados sobre o esforço computacional dos algoritmos. Os autores concluíram que a eficiência do método, para problemas de pequeno porte, independe do mecanismo da busca pela melhor solução, pois os dois algoritmos que mais se destacaram são baseados em estruturas distintas.

Na década seguinte, Rajendran e Chaudhuri (1990) apresentaram dois algoritmos heurísticos construtivos, compostos por duas fases: uma primeira fase de ordenação inicial das tarefas e outra de inserção de tarefas para obtenção das melhores sequencias parciais a fim de estabelecer a sequencia final das tarefas. Pekny e Miller (1991) apresentaram um trabalho para *no-wait* tendo como critério de minimização o tempo total da produção. Os autores adaptaram o método *branch-and-bound* para o problema do caixeiro-viajante para solucionar problemas *no-wait flowshop*, e compararam resultados com algoritmos baseados em *Simulated Annealing*.

Devido ao aumento das publicações de métodos para o problema *no-wait*, Sriskandarajah (1993) criou *upper bounds* e *lower bounds* (limitantes superiores e inferiores para a função-objetivo) para o problema *no-wait flowshop* com máquinas

paralelas. A pesquisa foi realizada para auxiliar a qualidade dos métodos para o problema proposto.

Gangadharan e Rajendran (1993) desenvolveram dois métodos heurísticos construtivos, que comprovaram serem melhores que as heurísticas desenvolvidas anteriormente. Cada algoritmo possui duas fases: uma primeira em que se consegue uma sequência inicial das tarefas, e uma fase posterior de construção da sequência. O algoritmo 2 apresentou melhores soluções que o algoritmo 1, porém, o algoritmo 1 é mais rápido computacionalmente comparado ao algoritmo 2.

Rajendran (1994) desenvolveu um método construtivo que obteve melhor desempenho. Esse método foi considerado pelo autor como uma evolução de dois métodos já existentes, o de Bonney e Gundry (1976) e, o de King e Spachis (1980). A primeira fase do método corresponde a construção da sequência inicial e a segunda fase é composta por um método de inserção de tarefas em sequências parciais originadas a partir da sequência inicial da primeira fase. Procurando minimizar o tempo total da programação, esta pesquisa destacou dois pontos importantes:

- A última tarefa programada deveria possuir tempos de processamento pequenos;
- Os *delays* (atrasos provocados intencionalmente para a restrição *no-wait* ser obedecida) deveriam ser minimizados.

Dessa forma, Rajendran (1994) utilizou um critério que pondera os tempos de processamento e a máquina em que se efetuará a operação. A partir desse critério é formada a solução inicial. A segunda fase é então aplicada até que todas as tarefas estejam programadas e assim, estabelecer a solução.

Chen *et al.* (1996) desenvolveram uma heurística com critério de minimização do tempo total de fluxo, baseada no algoritmo genético, e, através da sua parametrização, conseguiram melhorar as soluções encontradas pelo método construtivo proposto por Rajendran e Chaudhuri (1990).

Neste trabalho o problema a ser otimizado é *no-wait flowshop* com o bi-critério de minimização do *makespan* e do *flowtime*, com ponderação, por ser menos explorado em estudos anteriores.

No próximo item é abordada a restrição de programação *no-idle*. Apesar de não ser utilizada diretamente neste trabalho, julga-se necessário apresentar algumas considerações devido a sua importância prática e acadêmica.

## 4.5 NO-IDLE FLOWSHOP

Nesta seção são apresentadas a definição do problema e as principais heurísticas propostas na literatura, em duas sub seções.

### 4.5.1 Definição

Segundo Branco (2011), o problema de programação de tarefas *no-idle flowshop* (NIFS), determina que nenhuma máquina possua intervalo de tempo inativo entre operações consecutivas na programação estabelecida, ou seja, após ser iniciado o processamento, as máquinas devem processar todas as operações sem permitir qualquer tempo de ociosidade até que elas estejam processadas.

Ainda segundo Branco (2011), esse problema acontece devido ao custo de utilização ou o tempo de preparação da máquina (*setup times*) serem elevados, resultando assim, que desligar ou preparar a máquina mais vezes que o necessário causa um processo oneroso.

### 4.5.2 Principais Heurísticas da Literatura

Adiri e Pohoryles (1982) desenvolveram um algoritmo que obtém a solução ótima para o problema de minimização do tempo de fluxo das tarefas, e foram os primeiros a trabalhar com o problema *no-idle*. Vachajitpan (1982) foi o primeiro a fazer um estudo com o objetivo de minimização do *makespan*. Propôs um modelo de programação linear inteira com características adicionais que permitissem sequências não permutacionais, além de um método *Branch-and-Bound* (BB), para resolução de problemas de menor porte.

Woollam (1986) foi o primeiro a trabalhar com métodos heurísticos para solucionar problemas *no-idle flowshop* com  $m$  máquinas com o objetivo de minimização do tempo total de produção. Liao (1993) relaxou a condição *no-idle* e procurou minimizar o número de intervalos ociosos sujeitos a minimização do *makespan*; o autor apresentou uma heurística e um modelo de programação Inteira

Mista. Baptiste e Hguny (1997) propuseram um método (BB) com critério de minimização do *makespan* em problemas *no-idle* com  $m$  máquinas.

Saadani e Baptiste (2002) estudaram um problema em que a condição *no-idle* é parcialmente considerada e propuseram um algoritmo *Branch-and-Bound* para o caso de três máquinas para um ou mais intervalos ociosos.

Narain e Bagga (2003) estudaram o problema de *no-idle flowshop* para três máquinas com objetivo de minimização do *makespan* e desenvolveram um método de programação linear inteira e um algoritmo *Branch-and-Bound* com limitados resultados computacionais para problemas de pequeno porte.

Saadani *et. al* (2003) estudaram o mesmo problema e propuseram um método heurístico com base em um *lower bound* desenvolvido por eles mesmos no trabalho. Este método apresentou resultados bastante satisfatórios comparados a outros métodos anteriores. Saadani *et. al* (2005) apresentaram uma heurística baseada no problema do caixeiro viajante para o problema de *no-idle flowshop* com objetivo de minimização do *makespan*, em que os autores modelaram a heurística baseada em distâncias, determinadas como sendo o tempo necessário de espera na última máquina, resultante do processamento em todas as máquinas da tarefa  $i$  seguida da tarefa  $j$ . Após encontrada a distância mínima, isto é, o par de tarefas com a menor distância, a heurística executa um método de inserção das tarefas, uma a uma em todas as posições possíveis para as tarefas não sequenciadas.

Narain e Bagga (2005) estudaram o problema *no-idle flowshop* com o objetivo de minimizar o *makespan* e apresentaram quatro algoritmos para resolução de problemas de  $n$  tarefas e  $m$  máquinas, que foram baseados na regra de Johnson para gerar a solução inicial.

No mesmo ano, Kalczynski e Kamburowski (2005) desenvolveram uma heurística para a resolução do problema *no-idle flowshop* com intenção de minimização do tempo total de produção, que comparado com o trabalho de Saadani *et. al* (2005) apresentou resultados melhores na maior parte dos problemas analisados. No mesmo trabalho os autores apresentaram uma adaptação do NEH para o problema *no-idle* e os resultados mostraram que o método proposto foi superior a heurística adaptada.

Anos depois, Baraz e Mosheiov (2008) apresentaram um método heurístico composto de duas fases para o problema *no-idle flowshop* com critério de minimização o tempo total de produção, onde na primeira fase, as tarefas são

adicionadas uma a uma no final da sequência corrente e a tarefa que resulta no menor *makespan* é inserida à sequência parcial. A fase acontece até que todas as tarefas estejam sequenciadas. Na segunda etapa, todas as tarefas são trocadas entre si dentro da sequência obtida na fase inicial, para dessa forma encontrar o menor valor para o tempo total da produção.

No próximo capítulo é apresentado o desenvolvimento do trabalho com a metodologia a ser considerada nesta pesquisa, as heurísticas utilizadas e o modo como será realizada a experimentação computacional.

## 5 DESENVOLVIMENTO

### 5.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Uma pesquisa científica pode ser classificada de 4 modos, são eles: natureza, objetivos, abordagem e procedimentos.

Com relação à natureza, este trabalho é considerado aplicado pois busca encontrar a melhor heurística a ser utilizada para a minimização do tempo total de produção (*makespan*) e do tempo total de fluxo (*flowtime*) a partir dos tempos de processamento das tarefas nas máquinas.

Do ponto de vista da abordagem do problema, esta pesquisa é de caráter quantitativo, pois, serão utilizadas avaliações estatísticas de porcentagem de sucesso, desvio relativo e tempo médio computacional para a determinação do melhor método heurístico a ser utilizado para a minimização do tempo total de produção e do tempo total de fluxo.

Quanto aos objetivos, este trabalho é de caráter exploratório, pois visa proporcionar maior familiaridade com o problema, a partir do levantamento bibliográfico das heurísticas que possam resolve-lo e a partir desse levantamento bibliográfico, definir qual o melhor método a ser utilizado para a resolução do problema.

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos esta pesquisa é considerada bibliográfica, pois, utiliza de heurísticas já existentes para analisar qual o melhor método heurístico a ser utilizado para a minimização do *flowtime* e do *makespan*.

### 5.2 HEURÍSTICAS UTILIZADAS

No presente trabalho serão utilizadas as heurísticas de ordenação: *Longest Processing Time* (LPT), *Shortest Processing Time* (SPT), Randômica, Triangular e Triangular Invertida e também a heurística construtiva NEH, pois baseado na literatura, a escolha se dá por serem muito comuns e de fácil implementação. A seguir serão apresentadas como é o funcionamento de cada uma das heurísticas.

## 5.2.1 Heurísticas de Ordenação

### 5.2.1.1 Heurística *Longest Processing Time* (LPT)

O algoritmo LPT é realizado através do somatório do tempo de processamento das tarefas e segundo Cruz e Branco (2009) a ordenação deste algoritmo obedece a uma ordem não crescente da soma dos tempos de processamento.

A fim de exemplificar o funcionamento do sequenciamento das tarefas nas máquinas, foi criada a Tabela 2, para elaboração da ordenação LPT e também para a elaboração do gráfico de Gantt. As tarefas foram representadas pela letra J que significa *job* em inglês dentro do contexto da linguagem de computação.

**Tabela 2: Tempos de processamento das quatro tarefas em três máquinas**

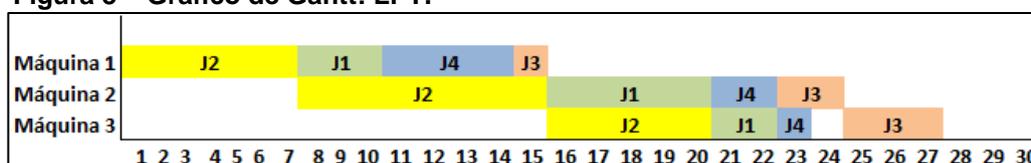
	J1	J2	J3	J4
Máquina 1	3	7	1	4
Máquina 2	5	8	2	2
Máquina 3	2	5	3	1

Fonte: Autoria própria, 2016.

Pela tabela 2, as somatórias, de J1 a J4, respectivamente, são: 10, 20, 6 e 7. Assim, o sequenciamento pela LPT é definido por J2, J1, J4 e J3.

A Figura 3 mostra a dinâmica da ordenação das tarefas (J1, J2, J3 e J4) nas máquinas, seguindo o princípio do funcionamento do algoritmo que é da maior soma dos tempos de processamento das tarefas para a menor soma dos tempos de processamento das tarefas sem restrição. Pode-se perceber que as tarefas 1, 3 e 4 aguardam respectivamente 5, 7 e 6 unidades de tempos para iniciar seu processamento na máquina 2, demonstrando assim a não utilização da restrição *no-wait*. Para esse caso o valor de *makespan* e *flowtime* foram respectivamente, 27 e 92 unidades de tempo.

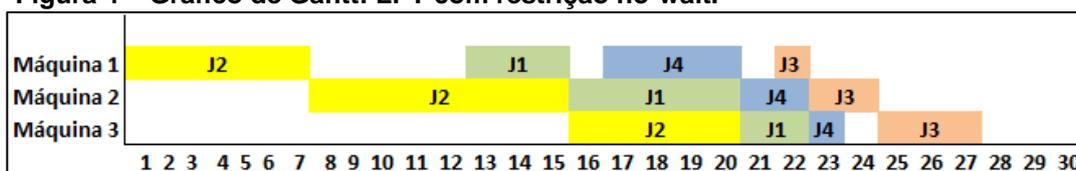
**Figura 3 – Gráfico de Gantt: LPT.**



Fonte: Autoria própria, 2016.

O gráfico de Gantt da Figura 4 apresenta a dinâmica de ordenação da heurística LPT com a restrição *no-wait*. A implementação da restrição *no-wait* pode ser percebida pelo atraso no início das tarefas 1, 3 e 4, de modo que o fluxo de produção dessas tarefas fosse contínuo. Os valores de *makespan* e *flowtime* para esse caso são 27 e 92 unidades de tempo respectivamente.

**Figura 4 – Gráfico de Gantt: LPT com restrição no-wait.**



Fonte: Autoria própria, 2016.

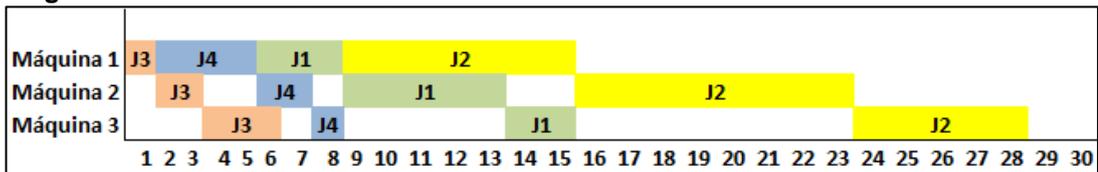
Ao comparar os gráficos de Gantt das figuras 3 e 4 sobre a ordenação das tarefas, pode-se observar que o segundo gráfico da Gantt não apresenta tempo de espera das tarefas para serem processadas nas máquinas, uma vez que foi implementada a restrição *no-wait*. Dessa forma para que a restrição pudesse ser implementada foi necessário atrasar o início das atividades 1, 3 e 4, gerando assim tempos ociosos na máquina 1.

#### 5.2.1.2 Heurística *Shortest Processing Time* (SPT)

O algoritmo SPT é realizado através da soma dos tempos de processamentos das tarefas e segundo Cruz e Branco (2009) a ordenação obedece à ordem crescente da soma desses tempos de processamento.

Para exemplificar o funcionamento da heurística SPT foi utilizada a Tabela 2 de tempos de processamento das tarefas em máquinas para a elaboração do gráfico de Gantt. Os gráficos de Gantt apresentados pelas Figuras 5 e 6 demonstram a heurística sem a restrição *no-wait* e com a restrição respectivamente.

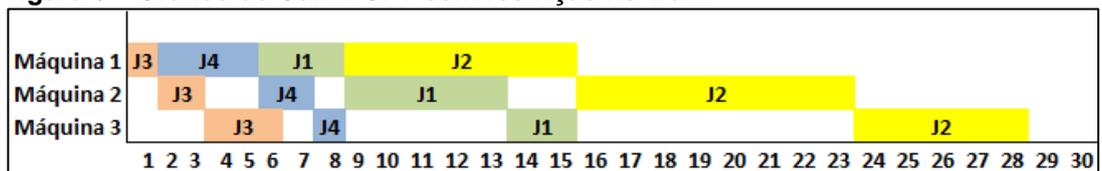
**Figura 5 – Gráfico de Gantt: SPT.**



Fonte: Autoria própria, 2016.

Pode-se perceber no gráfico de Gantt da Figura 5, que todas as tarefas possuem um fluxo contínuo de produção, ou seja, não há tempo de espera das tarefas para serem processadas na máquina seguinte. Dessa forma o gráfico de Gantt, da heurística SPT sem a restrição *no-wait* será exatamente o mesmo que o gráfico de Gantt com a implementação da restrição como pode ser visto na Figura 6.

**Figura 6 – Gráfico de Gantt: SPT com restrição no-wait.**



Fonte: Autor, 2016.

Nos dois casos apresentados os valores de *makespan* e *flowtime* são respectivamente 28 e 57 unidades de tempo.

### 5.2.1.3 Heurística Randômica

A heurística Randômica tem como base a tentativa experimental e de ordenação inicial, em que  $n$  tarefas são ordenadas de maneira aleatória em  $m$  máquinas. Não existe nenhum parâmetro a ser seguido nesta ordenação, somente para o caso da restrição *no-wait*, onde esta ordenação deverá não gerar tempos ociosos nas máquinas do sistema para que tenha uma boa utilização das máquinas durante o processo.

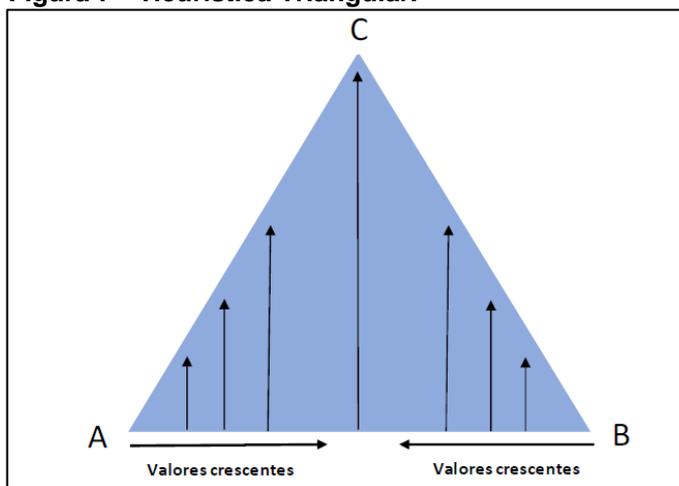
### 5.2.1.4 Heurística Triangular

A heurística triangular tem o princípio de construção baseado na forma de um triângulo, pois é necessário que nas extremidades estejam as menores alturas diferentes de zero enquanto as maiores alturas devem estar nas posições centrais.

Nesse triângulo as alturas correspondem aos somatório dos tempos de processamento das tarefas.

Segundo Branco e dos Santos (2016), o funcionamento da heurística triangular pode ser descrito da seguinte maneira. Primeiramente realiza-se a soma dos tempos de processamento das tarefas, em seguida a tarefa com o menor valor é alocada na primeira posição da extremidade A, o segundo menor valor da soma dos tempos de processamento é colocado na primeira posição da extremidade B. O terceiro menor valor será alocado na segunda posição da extremidade A, o mesmo procedimento será repetido para a extremidade B, sempre terá alternância entre o preenchimento das posições das extremidades A e B que não estiverem preenchidas. O término do processo ocorrerá quando a maior soma dos tempos de processamento das tarefas estiver ocupando a posição central em C. A Figura 7 mostrará o funcionamento da heurística Triangular conforme descrito anteriormente.

**Figura 7 – Heurística Triangular.**

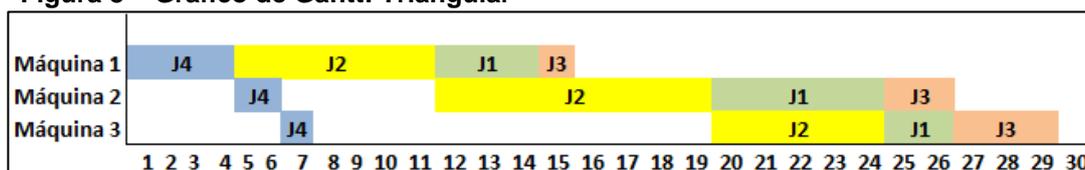


**Fonte: Branco e dos Santos (2016)**

Utilizando a Tabela 2 dos tempos de processamento das tarefas nas máquinas, serão apresentados os gráficos de Gantt para exemplificar o funcionamento da heurística triangular na ordenação das tarefas nas máquinas.

Analisando o gráfico de Gantt da Figura 8, pode-se perceber que a tarefa 1 (J1) e a tarefa 3 (J3) aguardam algumas unidades de tempo para iniciar o processamento na máquina 2, o que demonstra que nesse caso não houve a presença da restrição no-wait na resolução do problema. O valor do *makespan* para esse problema é 29 unidades de tempo e de *flowtime* é 86 unidades de tempo.

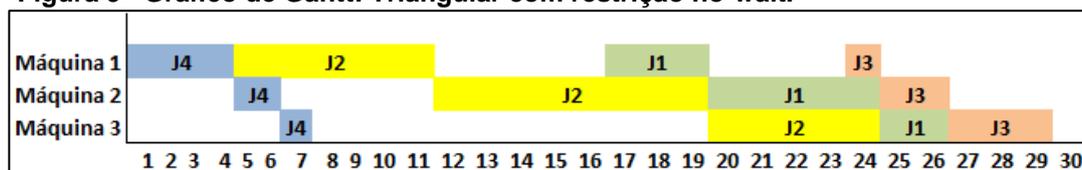
**Figura 8 – Gráfico de Gantt: Triangular**



Fonte: Autoria própria, 2016.

A Figura 9, mostra como a heurística triangular realiza a ordenação de tarefas em máquinas mediante a implementação da restrição no-wait. Pode-se perceber através do gráfico de Gantt que a tarefa 1 e a tarefa 3 foram iniciadas com atraso na máquina 1, de modo que seus fluxos de produção fosse contínuo em todas as máquinas, obedecendo assim o princípio da restrição implementada. Os valores de *makespan* e *flowtime* são respectivamente 29 e 86 unidades de tempo.

**Figura 9– Gráfico de Gantt: Triangular com restrição no-wait.**



Fonte: Autoria própria, 2016.

### 5.2.1.5 Heurística Triangular Invertida

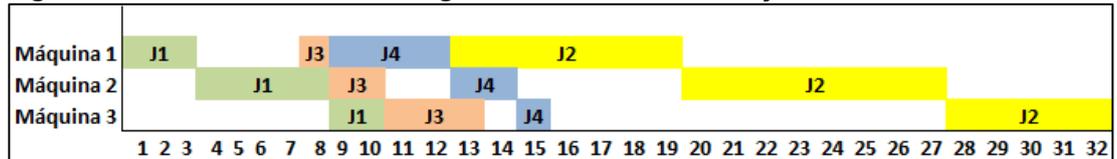
Segundo Branco e dos Santos (2016) a heurística recebe este nome pois remete a um triângulo em sua posição contrária. Ainda segundo Branco e dos Santos (2016), a dinâmica de processamento da heurística invertida é baseada na alocação das somas dos maiores tempos de processamento das tarefas nas extremidades e a posição central fica designada a atividade que tiver menor soma dos tempos de processamento.

De acordo com Branco e dos Santos (2016), a ordenação da heurística triangular invertida é iniciada com a tarefa que apresenta maior soma dos tempos de processamento, sendo alocada na primeira posição da extremidade A. A segunda tarefa com maior soma dos tempos de processamento será alocada na primeira posição da extremidade B. A terceira tarefa que obtiver a maior soma dos tempos de produção será alocada na segunda posição na extremidade A. E assim a sequência de ordenação da programação de tarefas continuara em B preenchendo a posição seguinte disponível e retornando para a próxima posição em A que estiver



Observando o gráfico de Gantt da Figura 12, nota-se que a tarefa 3 (J3) e a tarefa 4 (J4) foram iniciadas na máquina 1 com atraso de modo que o fluxo de produção das mesmas fosse contínuo em todas as máquinas, obedecendo assim a restrição *no-wait* implementada no problema. Os valores de makespan e flowtime são respectivamente 32 e 70 unidades de tempo.

Figura 12 – Gráfico de Gantt: Triangular Invertida com restrição *no-wait*.



Fonte: Autoria própria, 2016.

## 5.2.2 Heurística Construtiva

### 5.2.2.1 NEH

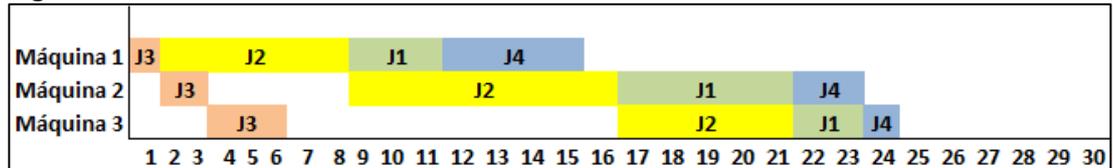
A ordenação da heurística NEH pode ser realizada por meio de três passos:

- 1º Passo – Realizar o somatório dos tempos de processamento das tarefas e em seguida ordená-los inicialmente de acordo com a regra LPT para minimizar o *makespan* e SPT para minimizar o *flowtime*.
- 2º passo – Selecionar as duas primeiras tarefas da ordenação inicial e sequenciá-las de modo a minimizar a função objetivo, considerando somente essas duas tarefas.
- 3º passo – Para  $k = 3$  a  $n$ :  
 Selecionar a tarefa que ocupa a  $k$ -ésima posição na ordenação obtida no processo de ordenação;  
 Examinar as  $k$  possibilidades de acrescentar a tarefa na sequência até então obtida, adotando aquela que leva a um menor valor da função objetivo.

Para um maior entendimento da heurística NEH, serão apresentados os gráficos de Gantt sem a restrição *no-wait* e com a restrição para demonstrar como é realizada a ordenação dessa heurística utilizando a Tabela 2 dos tempos de processamento das tarefas nas máquinas.

Observando o gráfico de Gantt da Figura 13 pode-se notar que a tarefa 1 (J1) e a tarefa 4 (J4), ficam esperando um período de tempo até que a máquina 2 seja liberada para que elas possam ser processadas, demonstrando que nesse caso não houve a implementação da restrição no-wait. Os valores de *makespan* e *flowtime* são respectivamente 24 e 74 unidades de tempo.

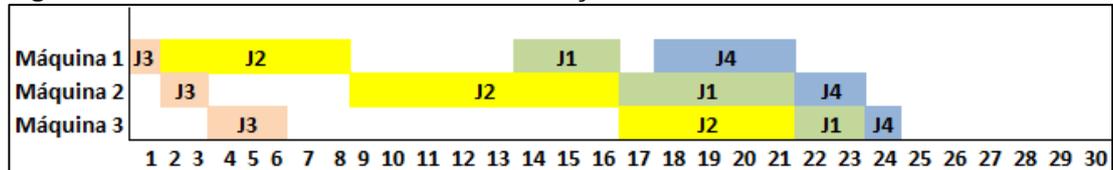
Figura 13 – Gráfico de Gantt: NEH.



Fonte: Autoria própria, 2016.

No gráfico de Gantt da Figura 14, nota-se que as tarefa 1 (J1) e a tarefa 4 (J4) tiveram seus inícios de processamento atrasados, de modo que seus fluxos de produção fossem contínuos obedecendo dessa forma o princípio da restrição *no-wait*. Os valores de *makespan* e *flowtime* são respectivamente 24 e 74 unidades de tempo.

Figura 14 – Gráfico de Gantt: NEH com restrição no-wait.



Fonte: Autoria própria, 2016.

### 5.3 EXPERIMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

Para a verificação do melhor método heurístico será criado e utilizado um banco de dados composto por 100 problemas para cada classe. Estas classes são determinadas pela combinação entre o número de tarefas ( $n$ ) e o número de máquinas ( $m$ ), sendo que os tempos de processamento das tarefas foram gerados aleatoriamente no intervalo de 1 a 99, com distribuição uniforme.

Os problemas encontram-se descritos através da combinação  $n \times m$ : 10x5, 10x10, 10x15, 10x20, 20x5, 20x10, 20x15, 20x20, 30x5, 30x10, 30x15, 30x20, 40x5, 40x10, 40x15, 40x20, 50x5, 50x10, 50x15, 50x20, 60x5, 60x10, 60x15, 60x20, 70x5,

70x10, 70x15, 70x20, 80x5, 80x10, 80x15, 80x20, 90x5, 90x10, 90x15, 90x20, 100x5, 100x10, 100x15, 100x20, 110x5, 110x10, 110x20, 120x5, 120x10, 120x15, 120x20, 130x5, 130x10, 130x15, 130x20, 140x5, 140x10, 140x15, 140x20, 150x5, 150x10, 150x15, 150x20, 160x5, 160x10, 160x15, 160x20, 170x5, 170x10, 170x15, 170x20, 180x5, 180x10, 180x15, 180x20, 190x5, 190x10, 190x15, 190x20, 200x5, 200x10, 200x15 e 200x20.

Através de um *software* gerador de dados as combinações entre o número de tarefas e número de máquinas descritas no paragrafo anterior, puderam ser realizadas, e geraram um conjunto de instancias com 8000 arquivos. Os arquivos de saída do gerador de dados foram utilizados para a execução das heurísticas SPT, SPT combinada com NEH, LPT, LPT combinada com NEH, Triangular, Triangular combinada com NEH, Triangular Invertida, Triangular Invertida combinada com NEH, Randômica e Randômica combinada com NEH, com restrição *no-wait*, que foram desenvolvidas por meio de programação em linguagem Pascal, utilizando o software Dev Pascal.

As heurísticas, cada qual seguindo seu princípio de funcionamento, utilizaram-se da função biobjetivo, representada pela equação 1, por meio da interação entre *makespan* e *flowtime*.

$$fO = \{\alpha \times Makespan + (1 - \alpha) \times Flowtime\} \quad (1)$$

Para  $\alpha = 0$ , a função objetivo minimizará *flowtime* e para  $\alpha = 1$  a função objetivo minimizara o *makespan*.

Para cada uma das heurísticas foi alterado o valor do parâmetro alfa no intervalo de 0 a 1, com variação de 0,1. Aos onze valores do parâmetro alfa foram atribuídos os resultados de programação e o tempo médio de computação para cada heurística.

Para determinar o desempenho dos algoritmos, os resultados serão avaliados pelas estatísticas de porcentagem de sucesso, desvio relativo médio e tempo médio computacional.

A porcentagem de sucesso é calculada pelo número de vezes em que o método obteve a melhor solução, dividido pelo número total de problemas avaliados. Quando dois ou mais métodos obtém a melhor solução para um mesmo problema todos eles alcançam sucesso e, conseqüentemente, suas porcentagens de sucesso são melhoradas simultaneamente.

O desvio relativo mede a variação correspondente à melhor solução obtida pelos métodos. Quando o desvio relativo da solução de um problema é igual a zero para um determinado método, significa que o tempo total da produção fornecido é o menor, ou seja, o algoritmo apresentou a melhor programação.

Desta maneira, o melhor algoritmo é aquele que apresenta o menor valor de desvio relativo médio (a média aritmética dos desvios) para uma determinada classe de problemas.

O desvio relativo ( $DR_x$ ) de um método  $x$  para um determinado problema pode ser calculado da seguinte maneira:

$$DR_x = \frac{D_x - D^*}{D^*} \times 100 \quad (2)$$

Onde  $DR_x$  é o *valor da* função objetivo obtido pelo método  $x$  e  $D^*$  é o melhor *valor da* função objetivo obtido pelos métodos.

A estatística que determinará a escolha do melhor método heurístico a ser utilizado será a Porcentagem de Sucesso. O desvio relativo será a ela correlacionada e será usado para reiterar o desempenho quanto à estatística principal. Assim, quando um método apresentar valores superiores da porcentagem de sucesso, será estatisticamente esperado que o desvio relativo apresente valores menores.

Em relação ao tempo médio de computação, tendo em vista que os métodos serão projetados para não apresentarem tempos excessivos e grandes diferenças para problemas da mesma classe ( $m$  máquinas,  $n$  tarefas), eles serão apresentados apenas com o propósito de avaliação dos esforços computacionais.

A experimentação computacional foi realizada em um microcomputador com processador Intel Core I5 5200U 2.2GHz, com memória RAM de 4 Gb e sistema operacional Windows 10.

## 6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

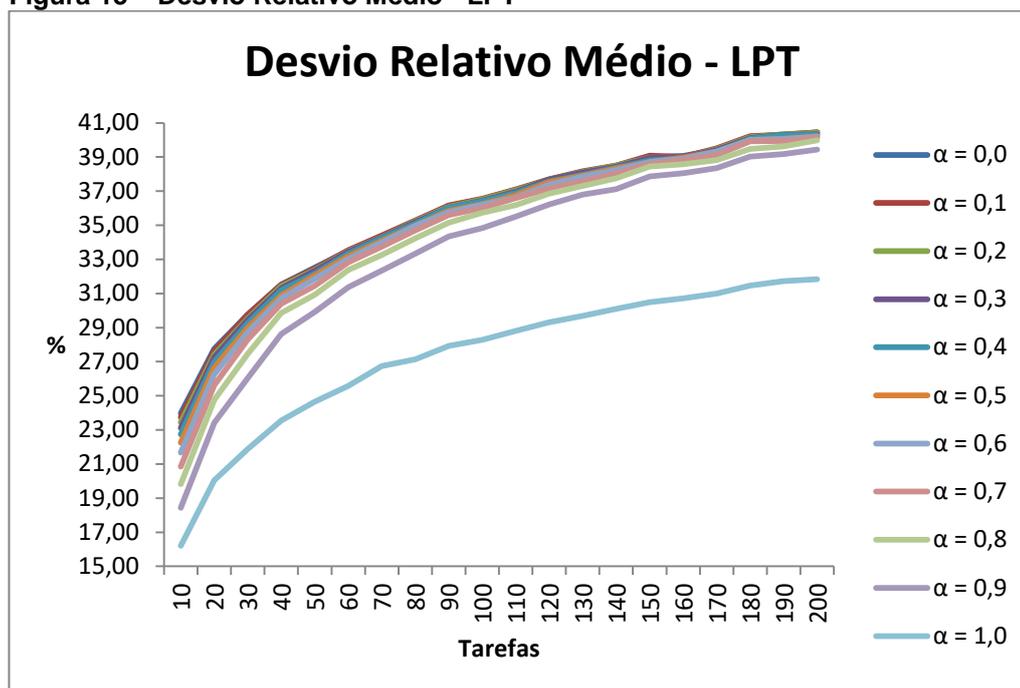
As heurísticas utilizadas foram LPT, SPT, Randômica, Triangular e Triangular Invertida, com e sem a presença da heurística NEH. As heurísticas primeiramente foram analisadas em duplas com e sem a presença da heurística NEH e após a comprovação da eficiência da heurística NEH no melhoramento da solução inicial, foi realizada uma nova análise entre as heurísticas citadas acima com a presença do NEH para que pudesse ser avaliado qual o melhor método a ser utilizado de acordo com a variação do parâmetro alfa com base nas porcentagens de sucesso, desvio relativo médio e tempo médio de computação para cada um dos valores do parâmetro alfa e para cada uma das 20 possibilidades de tarefas (10, 20, 30, 40, ..., 200). Para cada número de tarefa existem 400 instâncias sendo analisadas para gerar o valor da função biobjetivo, uma vez que existem 4 possibilidades de máquinas (5, 10, 15 e 20). Os valores do parâmetro alfa são atribuídos como: 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9 e 1,0.

As tabelas encontradas nos apêndices e os gráficos apresentados a seguir demonstram os dados obtidos por meio dos cálculos descritos anteriormente para que possa ser analisada a eficiência da heurística NEH no melhoramento da solução mediante as variações do parâmetro alfa. Os valores da função biobjetivo sublinhados nas tabelas representam os menores valores de cada  $n$  entre as heurísticas analisadas para porcentagem de sucesso, desvio relativo médio e tempo médio de computação.

Com base na análise das Tabelas 1, 2, 3, 4, 5 e 6 do Apêndice 1, pode-se observar que independente da variação do parâmetro alfa, a heurística LPT + NEH apresentou uma melhoria significativa nas soluções em relação a heurística LPT, obtendo 100% de sucesso em todos os ambientes analisados, independente do número de tarefas e do valor do parâmetro alfa.

Analisando o gráfico da Figura 15, é possível observar que no intervalo de  $\alpha = 0$  até  $\alpha = 0,9$  a heurística LPT + NEH apresenta uma melhora significativa para *flowtime* em aproximadamente 18% a 40% quando comparada a heurística LPT. Quando comparados os valores em relação ao *makespan* ( $\alpha = 1,0$ ) a melhoria na solução varia em aproximadamente 18% a 32%, comprovando assim a eficiência da heurística LPT + NEH em relação a heurística LPT.

Figura 15 – Desvio Relativo Médio - LPT



Fonte: Autoria própria, 2016.

Outra observação a ser analisada é que independente da variação do parâmetro alfa, quanto maior o número de tarefas, melhor é a solução encontrada pela heurística LPT + NEH, como pode ser visto para  $\alpha = 0$  onde a mesma apresentou uma melhoria de 23,98% para 10 tarefas e de 40,45% para 200 tarefas.

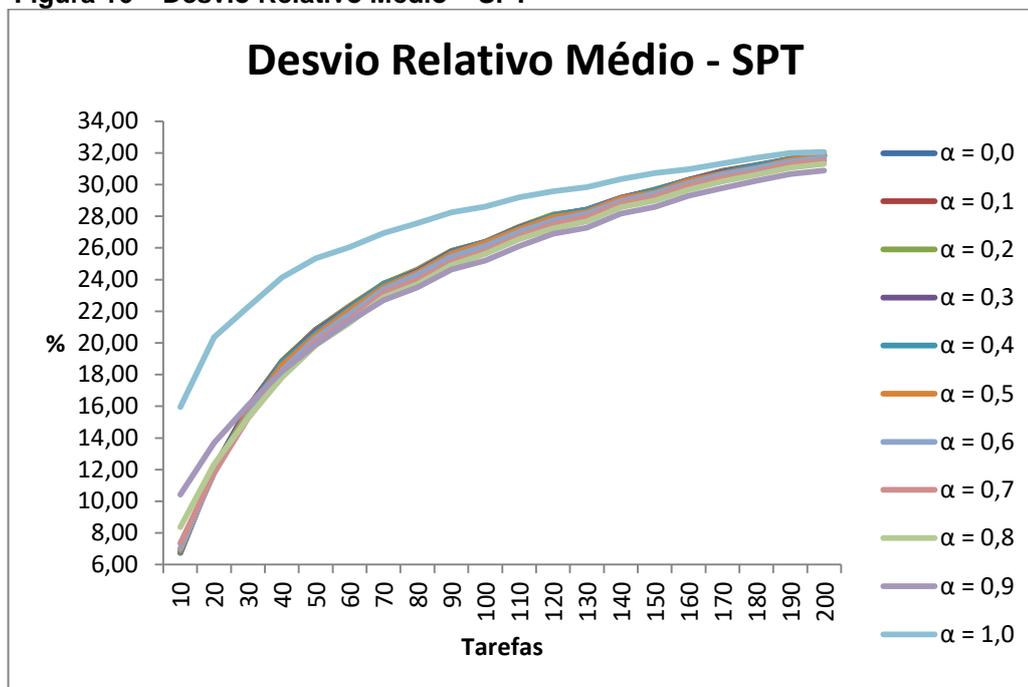
Em relação aos tempos médios de computação que são apresentados no Apêndice 1, na grande maioria dos casos a heurística LPT apresenta um tempo menor, porém não há uma grande diferença no tempo entre as duas heurísticas analisadas.

Com base na análise das Tabelas 1, 2, 3, 4, 5 e 6 do Apêndice 2, pode-se observar que mesmo com a variação do parâmetro alfa, a heurística SPT + NEH apresentou significativa melhora na solução do problema quando comparada a heurística SPT, apresentando na maioria dos casos 100% de sucesso. A heurística SPT apresentou uma melhor porcentagem de sucesso com  $\alpha = 0,7$  obtendo 3,75% de sucesso em um problema com 10 máquinas.

Através da análise do gráfico da Figura 16 de desvio relativo médio, é possível afirmar que a heurística SPT + NEH apresenta uma melhora de aproximadamente 6,73% a 31,85% na solução envolvendo o *flowtime* com o parâmetro alfa variando de 0 a 0,9 quando comparado a heurística SPT. Em relação

ao *makespan* ( $\alpha = 1,0$ ) a heurística SPT + NEH também apresenta uma grande melhoria nos resultados, chegando a minimizar o tempo médio de produção em aproximadamente 32% quando estão sendo realizadas 200 tarefas.

Figura 16 – Desvio Relativo Médio – SPT

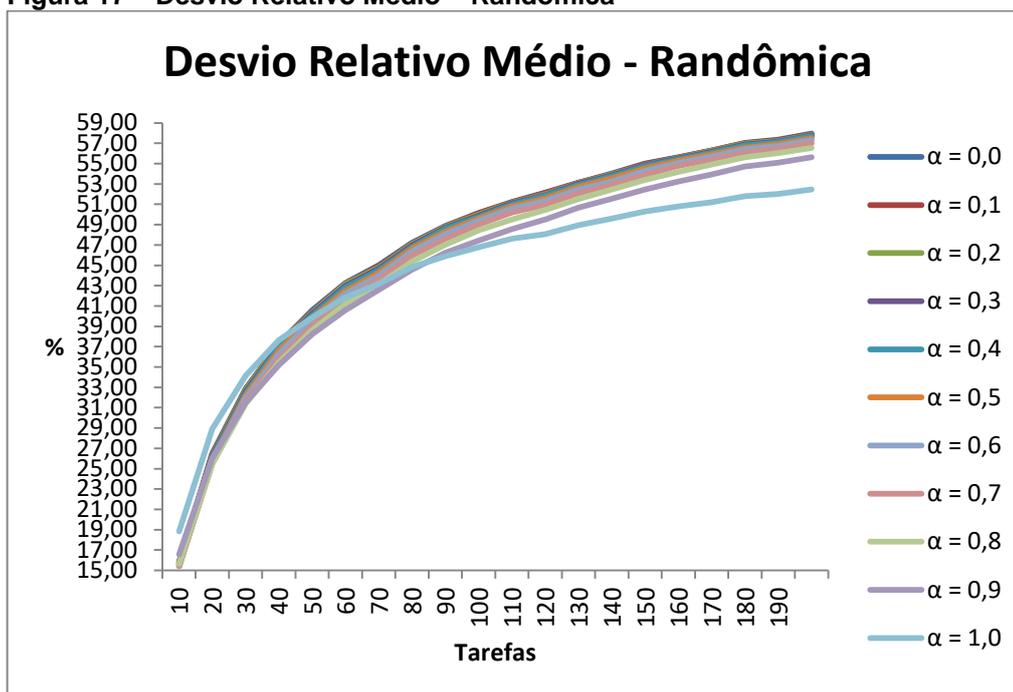


Fonte: Autoria própria, 2016.

Pode-se afirmar também que conforme aumenta o número de tarefas, independente do parâmetro alfa estabelecido, maior é a porcentagem de melhora na solução da heurística SPT + NEH quando comparada a heurística SPT.

Em relação ao tempo médio de computação apresentado no Apêndice 2, pode-se afirmar que na maioria dos casos a heurística SPT apresenta melhores tempos quando comparado a heurística SPT + NEH, porém a diferença entre os tempos não é significativa, o que permite dizer que devido a melhora que a heurística SPT + NEH apresenta, ela é mais eficiente e não demanda muito mais tempo a ser executada.

Figura 17 – Desvio Relativo Médio – Randômica



Fonte: Autoria própria, 2016.

Tendo como base as tabelas 1, 2, 3, 4, 5 e 6 do Apêndice 3, pode-se analisar que independente da variação do parâmetro alfa, a heurística Randômica + NEH apresentou significativa melhoria comparada a heurística Randômica, alcançando 100% de sucesso em todos os ambientes analisado independente do número de tarefas e do parâmetro alfa.

Através da análise do gráfico da Figura 17, pode-se observar que o desempenho da heurística Randômica + NEH durante todos os valores do parâmetro alfa que foram assumidos para o desvio relativo médio, demonstra que houve uma melhoria de aproximadamente 15,94% a 57,94% na solução para o *flowtime* com o parâmetro alfa variando entre 0,0 a 0,9 quando comparado à heurística Randômica. Em relação ao *makespan* ( $\alpha = 1,0$ ) há uma melhoria variando de 18,84% a 52,46% demonstrando assim que a heurística Randômica + NEH apresenta resultados muito superiores e mais eficientes quando comparados a heurística Randômica.

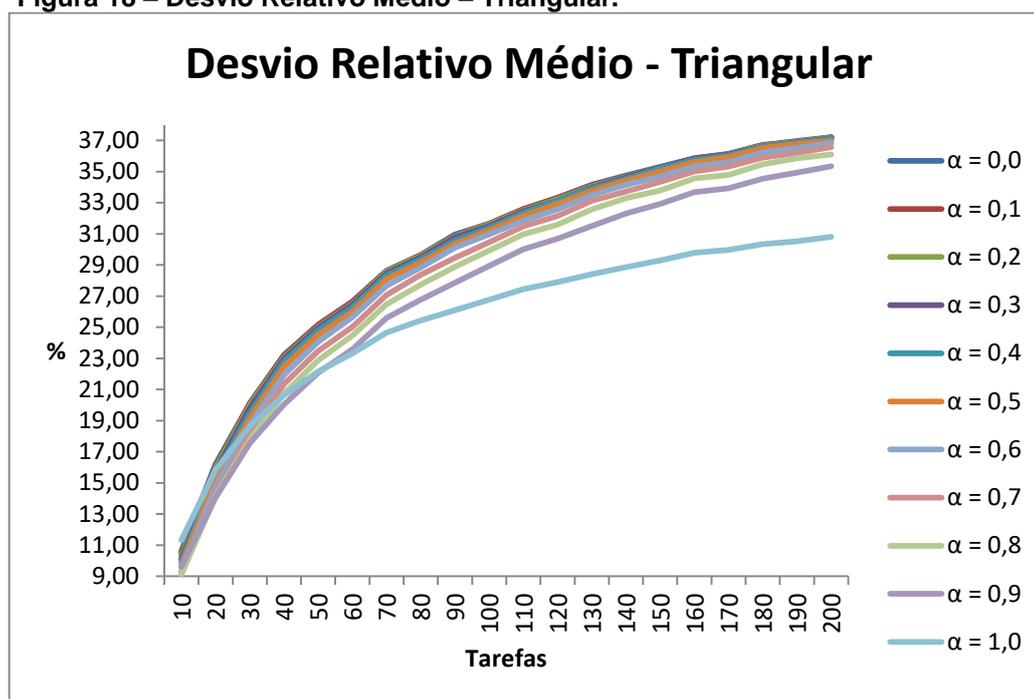
Independente do parâmetro alfa atribuído, quanto maior o número de tarefas maior é a eficiência da heurística Randômica + NEH em comparação a heurística Randômica, pois quanto maior o número de tarefas, maior é a porcentagem de melhora na solução obtida.

Em relação ao tempo médio de computação apresentado no Apêndice 3, pode-se afirmar que a heurística Randômica apresenta menores tempos na maioria dos casos analisados quando comparada a heurística Randômica + NEH, porém essa diferença entre os tempos é muito baixa, tornando assim mais viável a utilização da heurística Randômica + NEH pois, esta apresenta melhores soluções para a resolução do problema.

Utilizando como base as Tabelas 1, 2, 3, 4, 5 e 6 do Apêndice 4, independente da variação do parâmetro alfa, pode-se observar que a heurística triangular + NEH apresenta melhores soluções para o problema, obtendo 100% de sucesso na grande maioria dos casos analisados. A melhor porcentagem de sucesso que a heurística triangular obteve foi de 1,25% com  $\alpha = 1,0$  e com 10 tarefas sendo processadas onde obteve seu melhor resultado em relação ao *makespan*.

Analisando a Figura 18, as soluções da função biobjetivo de desvio relativo médio, é possível observar que no intervalo de  $\alpha = 0$  até  $\alpha = 0,9$  a heurística triangular + NEH apresenta uma melhora significativa de aproximadamente 9,13% a 37,22% em relação ao *flowtime* quando comparados a heurística triangular. Em relação ao *makespan* ( $\alpha = 1,0$ ), a melhora na solução é de aproximadamente 11,34% a 30,82%, mostrando mais uma vez a eficiência da heurística triangular + NEH quando comparada a heurística triangular.

Figura 18 – Desvio Relativo Médio – Triangular.



Fonte: Autoria própria, 2016.

Outro ponto a ser analisado é que independente da variação do parâmetro alfa, quanto maior o número de tarefas, maior é a eficiência da heurística triangular + NEH quando comparada a heurística triangular.

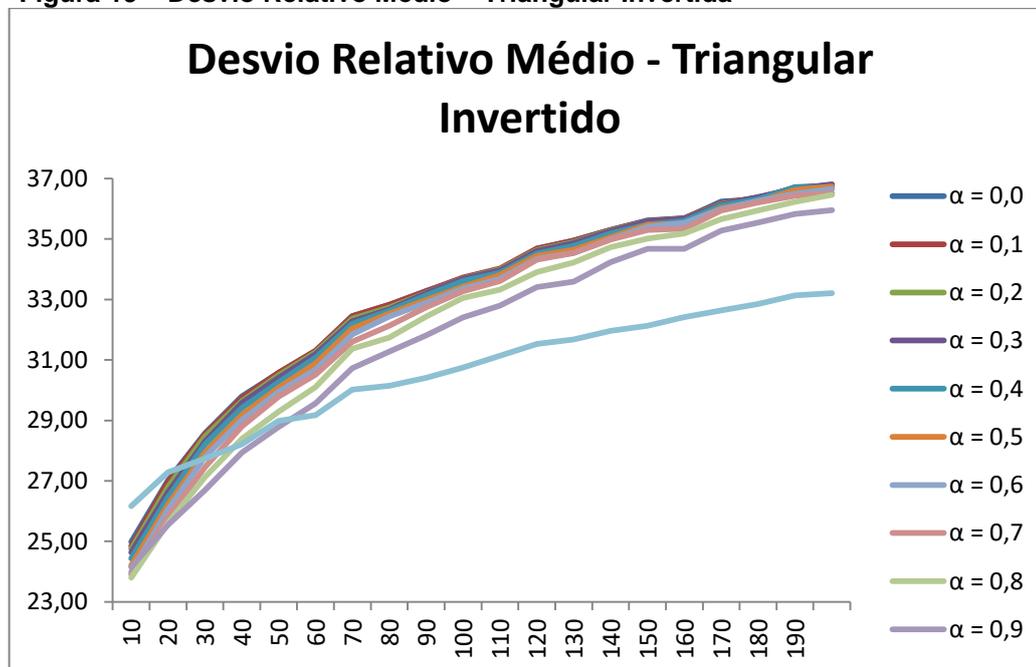
Em relação aos tempos médios de computação apresentados no Apêndice 4, pode-se afirmar que a heurística triangular possui melhores valores, porém a diferença entre os tempos não é significativa, o que viabiliza a utilização da heurística triangular + NEH, por oferecer melhores soluções para o problema analisado.

Com base na análise das Tabelas 1, 2, 3, 4, 5 e 6 do Apêndice 5, independente da variação do parâmetro alfa, a heurística triangular invertida + NEH apresentou melhores soluções quando comparada a heurística triangular invertida, obtendo 100% de sucesso em todos os casos analisados.

Analisando o gráfico da Figura 19 em relação ao desempenho da heurística triangular invertida + NEH durante todos os valores do parâmetro alfa que foram assumidos para o desvio relativo médio, pode-se dizer que para o *flowtime* a melhoria na solução variou entre 23,8% a 36,8% com alfa variando entre 0,0 a 0,9. Em relação ao *makespan* ( $\alpha = 1,0$ ), a melhora na solução variou entre 26,17% a

33,2%, o que demonstra que a heurística triangular invertida + NEH é mais eficiente que a heurística triangular invertida.

Figura 19 – Desvio Relativo Médio – Triangular Invertida



Fonte: Autoria própria, 2016.

Outro ponto a ser analisado é que quanto maior o número de tarefas a ser processada, maior é a eficiência da heurística triangular invertida + NEH, uma vez que a porcentagem de melhora da solução só aumenta de acordo com o número de máquinas.

Em relação ao tempo médio computacional apresentado no Apêndice 5, a heurística triangular invertida apresenta melhores resultados em sua maioria, porém a diferença entre os tempos é pequena, o que viabiliza a utilização da heurística triangular invertida + NEH por ser um método que apresenta soluções melhores para a resolução do problema analisado.

Após a comprovação da eficiência da Heurística NEH na melhora das soluções iniciais, a seguir serão apresentadas tabelas de comparação entre todas as heurísticas utilizadas anteriormente com o NEH, para que possa ser analisado qual o melhor método a ser utilizado mediante às variações do parâmetro alfa. Os valores da função biobjetivo sublinhados nas tabelas representam os melhores valores de cada n entre as heurísticas analisadas para porcentagem de sucesso, desvio relativo médio e tempo médio de computação.

À partir da análise das Tabelas 3, 4, 5, 6, 7 e 8, a variação do parâmetro alfa afeta diretamente todas as heurísticas, cada heurística apresenta variações diferentes sendo algumas mais significativas que outras.

**Tabela 3 – Comparação entre as heurísticas LPT + NEH, SPT + NEH, Randômica + NEH, Triangular + NEH e Triangular Invertida + NEH, com variação de  $\alpha = 0$  à  $\alpha = 0,1$ .**

	Nº DE TAREFAS	% DE SUCESSO					DESVIO RELATIVO					Tempo Medio Computacional (ms)				
		LPT + NEH	SPT + NEH	RAND + NEH	TRI + NEH	TRI IN + NEH	LPT + NEH	SPT + NEH	RAND + NEH	TRI + NEH	TRI IN + NEH	LPT + NEH	SPT + NEH	RAND + NEH	TRI + NEH	TRI IN + NEH
$\alpha = 0,0$	10	15,00	<u>43,75</u>	26,50	39,00	26,00	2,24	<u>0,65</u>	1,22	1,00	1,33	44,88	41,95	40,66	38,52	<u>35,31</u>
	20	4,75	<u>37,75</u>	20,50	21,75	17,50	3,27	<u>0,76</u>	1,46	1,32	1,94	<u>32,89</u>	32,93	<u>32,89</u>	33,48	58,09
	30	3,00	<u>46,50</u>	18,75	24,75	8,00	3,66	<u>0,61</u>	1,35	1,11	2,14	32,89	32,93	33,63	32,93	<u>32,85</u>
	40	0,25	<u>50,25</u>	16,75	26,50	7,00	4,23	<u>0,52</u>	1,48	1,07	2,56	<u>32,89</u>	32,93	32,93	32,93	33,13
	50	0,25	<u>52,50</u>	18,00	25,75	3,75	4,23	<u>0,39</u>	1,37	1,00	2,67	<u>32,89</u>	<u>32,89</u>	<u>32,89</u>	32,97	<u>32,89</u>
	60	0,25	<u>53,50</u>	15,75	27,25	3,25	4,33	<u>0,39</u>	1,29	0,86	2,47	<u>32,85</u>	32,93	32,93	32,93	<u>32,85</u>
	70	0,00	<u>54,25</u>	16,50	26,00	3,50	4,56	<u>0,36</u>	1,32	0,90	2,65	<u>32,85</u>	32,93	33,32	32,97	33,05
	80	0,00	<u>53,75</u>	17,50	26,75	2,25	4,53	<u>0,34</u>	1,33	0,87	2,56	<u>32,89</u>	32,93	32,93	32,93	32,97
	90	0,00	<u>58,75</u>	13,75	26,75	0,75	4,68	<u>0,29</u>	1,35	0,76	2,81	32,89	32,93	33,52	33,01	<u>32,85</u>
	100	0,00	<u>61,25</u>	13,50	23,75	1,50	4,66	<u>0,29</u>	1,28	0,76	2,85	33,13	<u>32,89</u>	<u>32,89</u>	32,97	<u>32,89</u>
	110	0,00	<u>62,25</u>	10,00	26,50	1,25	4,57	<u>0,23</u>	1,30	0,70	2,90	33,91	<u>32,89</u>	33,09	32,97	32,97
	120	0,00	<u>63,25</u>	11,75	24,50	0,75	4,69	<u>0,21</u>	1,28	0,75	2,88	34,30	<u>32,93</u>	33,09	33,28	33,48
	130	0,00	<u>60,50</u>	9,00	30,25	0,25	4,63	<u>0,24</u>	1,31	0,62	2,89	34,38	<u>32,93</u>	33,40	33,36	33,63
	140	0,00	<u>60,25</u>	10,25	28,75	0,75	4,71	<u>0,22</u>	1,22	0,61	2,94	34,53	<u>32,93</u>	36,92	33,28	34,30
	150	0,00	<u>63,00</u>	11,00	25,50	0,50	4,74	<u>0,21</u>	1,25	0,66	3,02	34,61	<u>32,93</u>	56,68	33,87	35,08
	160	0,00	<u>65,25</u>	7,75	26,50	0,50	4,77	<u>0,18</u>	1,28	0,63	2,98	33,48	<u>32,93</u>	35,94	33,91	36,64
	170	0,00	<u>63,75</u>	8,75	27,25	0,25	4,81	<u>0,17</u>	1,26	0,60	2,98	36,92	35,08	39,06	<u>34,22</u>	42,78
	180	0,00	<u>68,00</u>	5,25	26,50	0,25	4,70	<u>0,15</u>	1,24	0,58	3,10	42,54	39,88	43,99	<u>38,52</u>	48,44
	190	0,00	<u>65,25</u>	9,00	25,75	0,00	4,53	<u>0,15</u>	1,16	0,62	2,91	48,83	45,43	49,49	<u>43,71</u>	54,30
	200	0,00	<u>67,75</u>	10,25	21,75	0,25	4,66	<u>0,17</u>	1,20	0,63	3,06	55,43	51,48	55,39	<u>49,96</u>	59,96
$\alpha = 0,1$	10	14,50	<u>38,50</u>	26,00	36,75	23,00	2,20	<u>0,66</u>	1,19	1,04	1,36	50,35	42,62	48,81	44,26	<u>41,13</u>
	20	5,00	<u>42,00</u>	18,25	19,00	15,75	3,26	<u>0,74</u>	1,50	1,43	1,92	32,89	32,93	34,22	32,89	<u>32,85</u>
	30	3,75	<u>45,50</u>	18,00	23,50	9,25	3,60	<u>0,62</u>	1,37	1,13	2,15	32,89	32,89	<u>32,81</u>	32,97	32,85
	40	0,50	<u>51,75</u>	17,25	25,25	5,50	4,18	<u>0,52</u>	1,45	1,10	2,59	32,93	32,93	32,93	<u>32,85</u>	32,89
	50	0,25	<u>55,75</u>	15,50	24,75	3,75	4,25	<u>0,44</u>	1,49	1,01	2,66	<u>32,89</u>	<u>32,89</u>	32,93	33,01	<u>32,89</u>
	60	0,50	<u>57,00</u>	14,75	24,75	3,00	4,36	<u>0,35</u>	1,41	0,93	2,52	<u>32,89</u>	32,93	32,93	32,93	<u>32,89</u>
	70	0,00	<u>59,25</u>	15,00	22,75	3,00	4,46	<u>0,34</u>	1,34	0,89	2,59	32,89	32,89	32,97	32,93	<u>32,85</u>
	80	0,25	<u>58,00</u>	12,50	27,25	2,00	4,48	<u>0,30</u>	1,41	0,89	2,57	32,93	32,93	32,93	32,93	<u>32,89</u>
	90	0,00	<u>61,50</u>	11,75	25,75	1,00	4,66	<u>0,27</u>	1,42	0,83	2,84	32,93	32,93	32,93	32,93	<u>32,89</u>
	100	0,00	<u>58,25</u>	14,50	27,00	0,25	4,61	<u>0,27</u>	1,27	0,75	2,81	33,40	<u>32,89</u>	33,52	32,93	<u>32,89</u>
	110	0,00	<u>63,50</u>	10,25	25,50	0,75	4,61	<u>0,24</u>	1,38	0,74	2,90	33,95	<u>32,89</u>	33,67	<u>32,89</u>	32,93
	120	0,00	<u>67,25</u>	8,75	23,50	0,50	4,66	<u>0,19</u>	1,31	0,74	2,87	34,57	<u>32,93</u>	33,99	33,01	33,09
	130	0,00	<u>61,75</u>	8,25	30,00	0,00	4,60	<u>0,23</u>	1,33	0,68	2,91	34,69	<u>32,93</u>	33,95	33,28	33,64
	140	0,00	<u>65,00</u>	8,75	25,75	0,50	4,60	<u>0,21</u>	1,24	0,63	2,92	34,02	<u>32,89</u>	34,02	34,30	34,02
	150	0,00	<u>62,00</u>	11,25	26,75	0,00	4,65	<u>0,19</u>	1,25	0,68	3,01	34,26	<u>32,93</u>	33,67	33,20	34,88
	160	0,00	<u>69,25</u>	5,25	25,50	0,00	4,82	<u>0,16</u>	1,31	0,65	3,00	33,44	<u>32,93</u>	33,36	33,01	34,88
	170	0,00	<u>66,75</u>	8,75	24,50	0,00	4,77	<u>0,17</u>	1,27	0,64	3,03	36,99	35,20	36,80	<u>33,40</u>	35,55

180	0,00	<u>69.75</u>	5,25	25,00	0,00	4,68	<u>0.14</u>	1,31	0,65	3,11	41,92	40,04	42,19	<u>36.21</u>	39,57
190	0,00	<u>66.25</u>	4,75	28,50	0,50	4,52	<u>0.15</u>	1,21	0,56	2,93	47,62	45,74	48,13	<u>41.56</u>	44,77
200	0,00	<u>69.25</u>	8,00	22,50	0,25	4,66	<u>0.14</u>	1,23	0,63	3,06	53,79	51,88	53,91	<u>47.73</u>	50,20

Fonte: Autoria própria, 2016

**Tabela 4 – Comparação entre as heurísticas LPT + NEH, SPT + NEH, Randômica + NEH, Triangular + NEH e Triangular Invertida + NEH, com variação de  $\alpha = 0,2$  à  $\alpha = 0,3$**

	Nº DE TAREFAS	% DE SUCESSO					DESVIO RELATIVO					Tempo Medio Computacional (ms)				
		LPT + NEH	SPT + NEH	RAND + NEH	TRI + NEH	TRI IN + NEH	LPT + NEH	SPT + NEH	RAND + NEH	TRI + NEH	TRI IN + NEH	LPT + NEH	SPT + NEH	RAND + NEH	TRI + NEH	TRI IN + NEH
$\alpha = 0,2$	10	13,75	<u>38.75</u>	26,75	36,75	22,50	2,19	<u>0.73</u>	1,23	1,06	1,34	<u>34.65</u>	38,44	46,70	44,53	44,85
	20	5,00	<u>42.50</u>	18,00	20,75	13,75	3,24	<u>0.70</u>	1,53	1,39	1,96	<u>32.89</u>	<u>32.89</u>	32,97	32,97	32,93
	30	3,75	<u>43.50</u>	19,00	25,00	8,75	3,66	<u>0.64</u>	1,37	1,12	2,13	<u>32.89</u>	32,93	32,93	32,93	<u>32.89</u>
	40	0,50	<u>51.50</u>	17,50	25,75	4,75	4,16	<u>0.48</u>	1,51	1,12	2,62	32,93	32,97	32,93	32,93	<u>32.89</u>
	50	0,25	<u>55.75</u>	15,00	26,25	3,00	4,25	<u>0.46</u>	1,51	1,06	2,69	32,89	34,14	32,93	32,97	<u>32.81</u>
	60	1,00	<u>57.50</u>	12,75	26,00	2,75	4,35	<u>0.35</u>	1,41	1,00	2,53	32,93	32,93	32,93	32,93	<u>32.89</u>
	70	0,00	<u>58.25</u>	14,00	25,75	2,00	4,47	<u>0.34</u>	1,41	0,87	2,63	<u>32.89</u>	32,93	32,97	32,97	<u>32.89</u>
	80	0,25	<u>61.75</u>	12,25	23,75	2,25	4,45	<u>0.28</u>	1,42	0,88	2,60	32,93	32,93	<u>32.89</u>	32,93	<u>32.89</u>
	90	0,00	<u>60.75</u>	10,50	27,75	1,00	4,66	<u>0.27</u>	1,42	0,84	2,85	32,97	32,97	33,05	32,93	<u>32.89</u>
	100	0,00	<u>60.50</u>	11,25	28,00	0,25	4,62	<u>0.27</u>	1,35	0,77	2,82	33,40	32,93	33,21	32,97	<u>32.89</u>
	110	0,00	<u>60.75</u>	13,00	25,75	0,50	4,58	<u>0.23</u>	1,36	0,77	2,89	34,18	<u>32.93</u>	34,10	<u>32.93</u>	<u>32.93</u>
	120	0,00	<u>69.50</u>	9,75	20,50	0,25	4,63	<u>0.17</u>	1,37	0,78	2,90	34,49	<u>32.93</u>	33,79	33,20	33,21
	130	0,00	<u>60.75</u>	9,75	29,50	0,00	4,56	<u>0.23</u>	1,31	0,68	2,90	34,69	<u>32.93</u>	33,52	33,28	33,95
	140	0,00	<u>64.75</u>	7,75	27,00	0,50	4,58	<u>0.21</u>	1,26	0,63	2,92	34,88	<u>32.97</u>	33,48	33,17	34,06
	150	0,00	<u>68.00</u>	7,50	24,75	0,00	4,72	<u>0.17</u>	1,31	0,67	3,02	34,26	<u>32.93</u>	33,36	33,17	34,65
	160	0,00	<u>67.50</u>	9,00	23,50	0,00	4,83	<u>0.17</u>	1,33	0,67	3,00	34,06	<u>32.93</u>	33,56	33,20	35,82
	170	0,00	<u>64.50</u>	8,25	27,25	0,00	4,75	<u>0.17</u>	1,28	0,61	3,04	36,41	35,12	37,42	<u>33.40</u>	35,74
	180	0,00	<u>69.75</u>	3,50	26,75	0,00	4,69	<u>0.14</u>	1,30	0,63	3,08	41,92	40,00	42,35	<u>36.17</u>	40,04
	190	0,00	<u>68.00</u>	6,00	26,00	0,00	4,48	<u>0.14</u>	1,26	0,59	2,99	47,27	45,55	47,89	<u>41.60</u>	44,41
	200	0,00	<u>66.25</u>	8,00	25,50	0,25	4,66	<u>0.17</u>	1,27	0,62	3,07	59,22	51,64	54,34	<u>47.58</u>	49,73
$\alpha = 0,3$	10	14,25	<u>37.75</u>	23,50	36,00	23,25	2,14	<u>0.76</u>	1,28	1,13	1,30	42,39	<u>39.18</u>	40,86	42,89	48,71
	20	4,25	<u>41.25</u>	20,00	21,25	13,50	3,14	<u>0.69</u>	1,54	1,45	1,98	32,93	32,93	32,93	32,97	<u>32.89</u>
	30	3,25	<u>41.25</u>	21,00	25,50	9,00	3,54	<u>0.63</u>	1,43	1,18	2,15	<u>32.85</u>	32,89	32,97	32,93	<u>32.85</u>
	40	1,25	<u>52.75</u>	16,50	24,00	5,50	4,10	<u>0.50</u>	1,54	1,12	2,57	<u>32.93</u>	<u>32.93</u>	32,97	32,97	32,97
	50	0,25	<u>55.00</u>	13,25	26,25	5,25	4,12	<u>0.43</u>	1,49	1,01	2,63	32,89	32,93	32,93	32,97	<u>32.85</u>
	60	0,50	<u>58.75</u>	15,00	21,75	4,00	4,25	<u>0.36</u>	1,46	0,97	2,49	<u>32.93</u>	<u>32.93</u>	32,97	32,97	<u>32.93</u>
	70	0,00	<u>56.00</u>	13,00	28,75	2,75	4,40	<u>0.36</u>	1,43	0,89	2,63	32,93	32,97	32,97	<u>32.89</u>	<u>32.89</u>
	80	0,50	<u>60.50</u>	12,00	24,75	2,25	4,34	<u>0.27</u>	1,39	0,85	2,53	32,93	<u>32.89</u>	32,93	32,97	<u>32.89</u>
	90	0,00	<u>60.25</u>	10,25	28,75	0,75	4,62	<u>0.27</u>	1,42	0,82	2,80	32,89	32,97	32,97	32,93	<u>32.85</u>
	100	0,00	<u>61.50</u>	12,25	25,25	1,00	4,60	<u>0.25</u>	1,39	0,80	2,78	33,48	32,93	33,52	32,97	<u>32.89</u>
	110	0,00	<u>61.75</u>	13,25	24,25	0,75	4,57	<u>0.22</u>	1,34	0,76	2,85	34,26	32,93	33,48	32,97	<u>32.85</u>
	120	0,00	<u>68.00</u>	9,00	22,75	0,25	4,56	<u>0.19</u>	1,38	0,80	2,86	34,06	<u>32.89</u>	33,20	32,93	33,13
	130	0,00	<u>65.25</u>	7,75	27,00	0,00	4,58	<u>0.20</u>	1,37	0,73	2,92	34,45	<u>32.93</u>	33,52	33,20	33,75
	140	0,00	<u>68.00</u>	6,75	25,00	0,25	4,64	<u>0.20</u>	1,33	0,67	2,94	33,91	<u>32.89</u>	33,44	33,36	34,22
	150	0,00	<u>66.25</u>	7,25	26,50	0,00	4,66	<u>0.17</u>	1,29	0,61	2,97	34,11	<u>32.93</u>	33,79	33,20	34,84
	160	0,00	<u>65.00</u>	8,00	27,00	0,00	4,82	<u>0.17</u>	1,39	0,68	3,02	33,48	<u>32.93</u>	33,56	33,56	35,00
	170	0,00	<u>62.00</u>	6,25	31,75	0,00	4,75	<u>0.18</u>	1,30	0,59	3,02	36,80	<u>32.93</u>	37,03	33,28	35,35
	180	0,00	<u>68.25</u>	7,25	24,25	0,25	4,69	<u>0.14</u>	1,34	0,66	3,04	42,11	<u>34.73</u>	42,43	36,64	39,57

190	0,00	<u>68.00</u>	8,00	24,00	0,00	4,46	<u>0.14</u>	1,23	0,57	2,90	48,32	<u>39.38</u>	48,28	41,80	44,77
200	0,00	<u>71.50</u>	7,00	21,25	0,25	4,69	<u>0.14</u>	1,29	0,64	3,01	54,41	<u>44.38</u>	53,99	47,62	50,82

Fonte: Autoria própria, 2016

**Tabela 5 – Comparação entre as heurísticas LPT + NEH, SPT + NEH, Randômica + NEH, Triangular + NEH e Triangular Invertida + NEH, com variação de  $\alpha = 0,4$  à  $\alpha = 0,5$**

	Nº DE TAREFAS	% DE SUCESSO					DESVIO RELATIVO					Tempo Médio Computacional (ms)				
		LPT + NEH	SPT + NEH	RAND + NEH	TRI + NEH	TRI IN + NEH	LPT + NEH	SPT + NEH	RAND + NEH	TRI + NEH	TRI IN + NEH	LPT + NEH	SPT + NEH	RAND + NEH	TRI + NEH	TRI IN + NEH
$\alpha = 0,4$	10	16,00	34,75	26,00	<u>35.00</u>	21,75	2,07	<u>0.86</u>	1,36	1,18	1,33	54,53	39,89	39,65	41,17	<u>39.73</u>
	20	6,00	<u>39.50</u>	19,25	22,00	13,75	3,10	<u>0.80</u>	1,62	1,53	2,00	32,89	32,93	32,93	32,93	<u>32.85</u>
	30	3,00	<u>45.00</u>	19,50	21,75	11,25	3,38	<u>0.63</u>	1,43	1,27	2,02	32,93	32,97	32,97	32,93	<u>32.89</u>
	40	0,75	<u>53.75</u>	19,00	21,00	5,50	3,99	<u>0.48</u>	1,53	1,14	2,56	32,93	32,93	32,93	32,93	<u>32.89</u>
	50	0,25	<u>52.75</u>	15,50	27,00	4,50	4,04	<u>0.45</u>	1,51	0,99	2,60	<u>32.89</u>	32,93	32,93	<u>32.89</u>	<u>32.89</u>
	60	0,00	<u>57.75</u>	14,50	23,75	4,25	4,17	<u>0.35</u>	1,49	0,98	2,46	<u>32.93</u>	<u>32.93</u>	32,97	32,97	<u>32.93</u>
	70	0,00	<u>60.25</u>	10,75	26,50	2,50	4,36	<u>0.34</u>	1,54	0,97	2,66	<u>32.85</u>	32,93	32,97	32,93	32,89
	80	0,50	<u>58.75</u>	12,00	26,50	2,25	4,31	<u>0.32</u>	1,44	0,89	2,49	32,93	32,93	32,93	35,16	<u>32.89</u>
	90	0,00	<u>61.75</u>	11,00	26,00	1,25	4,49	<u>0.24</u>	1,39	0,87	2,75	32,93	32,97	32,97	32,97	<u>32.89</u>
	100	0,00	<u>64.25</u>	11,75	23,00	1,00	4,56	<u>0.23</u>	1,44	0,84	2,79	33,75	<u>32.93</u>	33,16	32,97	<u>32.93</u>
	110	0,00	<u>63.00</u>	12,25	23,50	1,50	4,51	<u>0.21</u>	1,35	0,76	2,82	33,95	<u>32.93</u>	34,18	32,97	<u>32.93</u>
	120	0,00	<u>66.00</u>	8,00	25,75	0,25	4,61	<u>0.19</u>	1,43	0,79	2,92	34,22	<u>32.93</u>	33,63	33,05	33,32
	130	0,00	<u>68.75</u>	6,00	25,25	0,25	4,60	<u>0.18</u>	1,39	0,73	2,93	34,14	<u>33.01</u>	33,87	33,09	33,67
	140	0,00	<u>64.50</u>	8,25	26,75	0,50	4,59	<u>0.20</u>	1,34	0,69	2,93	34,57	<u>32.93</u>	33,83	33,20	33,87
	150	0,00	<u>65.75</u>	6,75	27,25	0,25	4,72	<u>0.16</u>	1,32	0,64	3,01	33,98	<u>32.93</u>	34,22	33,05	35,04
	160	0,00	<u>68.25</u>	6,25	25,25	0,25	4,79	<u>0.18</u>	1,40	0,66	3,02	33,79	<u>32.93</u>	33,28	33,05	34,96
	170	0,00	<u>62.50</u>	7,25	30,00	0,25	4,75	<u>0.19</u>	1,31	0,57	2,98	36,56	<u>32.97</u>	37,31	33,05	36,52
	180	0,00	<u>70.00</u>	5,00	24,75	0,25	4,70	<u>0.14</u>	1,41	0,67	3,09	42,19	<u>34.81</u>	42,97	36,13	39,88
	190	0,00	<u>66.50</u>	7,75	25,75	0,00	4,46	<u>0.16</u>	1,30	0,58	2,87	47,03	<u>39.34</u>	48,36	41,53	44,85
	200	0,00	<u>71.50</u>	6,25	22,00	0,25	4,66	<u>0.13</u>	1,30	0,62	3,00	53,17	<u>44.38</u>	54,03	47,27	50,00
$\alpha = 0,5$	10	17,50	<u>33.25</u>	26,00	<u>33.25</u>	25,00	1,99	<u>0.99</u>	1,38	1,25	1,36	46,72	<u>38.63</u>	41,64	39,30	41,99
	20	9,25	<u>39.75</u>	17,00	22,50	13,25	2,99	<u>0.86</u>	1,73	1,59	1,97	<u>32.89</u>	32,93	32,97	<u>32.89</u>	<u>32.89</u>
	30	2,50	<u>41.00</u>	20,75	24,75	12,00	3,26	<u>0.67</u>	1,44	1,34	2,01	<u>32.89</u>	32,97	32,93	32,97	32,93
	40	2,00	<u>52.50</u>	16,50	21,50	8,00	3,94	<u>0.53</u>	1,61	1,21	2,54	<u>32.89</u>	32,93	32,97	32,97	<u>32.89</u>
	50	0,50	<u>52.00</u>	16,75	26,50	4,75	3,90	<u>0.49</u>	1,55	1,07	2,58	<u>32.93</u>	32,97	<u>32.93</u>	<u>32.93</u>	<u>32.93</u>
	60	0,25	<u>58.00</u>	14,75	21,50	5,75	4,06	<u>0.35</u>	1,58	1,04	2,44	<u>32.89</u>	32,93	32,97	32,93	<u>32.89</u>
	70	0,00	<u>56.75</u>	13,25	27,25	3,00	4,28	<u>0.38</u>	1,57	1,00	2,63	32,93	32,93	32,93	34,26	<u>32.89</u>
	80	0,25	<u>58.75</u>	13,25	24,75	3,00	4,28	<u>0.31</u>	1,51	0,96	2,50	33,03	32,97	32,97	<u>32.89</u>	32,93
	90	0,00	<u>64.25</u>	9,50	26,00	0,50	4,47	<u>0.23</u>	1,48	0,91	2,74	<u>32.89</u>	32,93	32,93	32,97	<u>32.89</u>
	100	0,00	<u>66.50</u>	9,75	22,50	1,25	4,53	<u>0.20</u>	1,44	0,87	2,83	33,40	32,97	33,48	32,93	<u>32.85</u>
	110	0,00	<u>67.00</u>	10,25	21,75	1,25	4,53	<u>0.22</u>	1,44	0,83	2,82	34,30	<u>32.86</u>	34,18	32,97	32,93
	120	0,00	<u>69.50</u>	7,75	22,25	0,50	4,50	<u>0.20</u>	1,48	0,84	2,86	33,83	<u>32.93</u>	33,71	33,01	33,09
	130	0,00	<u>67.00</u>	8,50	24,25	0,25	4,44	<u>0.16</u>	1,37	0,68	2,87	35,67	<u>32.97</u>	33,63	33,01	33,63
	140	0,00	<u>68.25</u>	7,50	23,75	0,50	4,55	<u>0.18</u>	1,42	0,72	2,98	34,41	<u>32.93</u>	33,44	33,05	34,42
	150	0,00	<u>67.25</u>	7,50	25,50	0,25	4,65	<u>0.18</u>	1,34	0,65	2,90	34,61	32,93	33,75	<u>32.89</u>	34,65
	160	0,00	<u>69.75</u>	5,00	25,00	0,25	4,68	<u>0.15</u>	1,43	0,72	3,03	33,71	<u>32.93</u>	33,63	33,01	35,28
	170	0,00	<u>64.00</u>	7,00	28,75	0,25	4,63	<u>0.17</u>	1,34	0,56	2,96	37,31	<u>32.97</u>	37,23	33,09	35,78
	180	0,00	<u>67.00</u>	3,00	30,25	0,00	4,62	<u>0.16</u>	1,43	0,61	3,03	42,27	<u>34.80</u>	42,78	36,29	39,73

190	0,00	<u>68,50</u>	4,50	27,00	0,00	4,55	<u>0,17</u>	1,37	0,60	2,89	47,07	<u>39,42</u>	48,13	41,49	44,45
200	0,00	<u>74,00</u>	4,00	22,50	0,00	4,72	<u>0,12</u>	1,43	0,73	3,01	53,32	<u>44,42</u>	54,10	47,30	50,16

Fonte: Autoria própria, 2016

**Tabela 6 – Comparação entre as heurísticas LPT + NEH, SPT + NEH, Randômica + NEH, Triangular + NEH e Triangular Invertida + NEH, com variação de  $\alpha = 0,6$  à  $\alpha = 0,7$**

	Nº DE TAREFAS	% DE SUCESSO					DESVIO RELATIVO					Tempo Médio Computacional (ms)				
		LPT + NEH	SPT + NEH	RAND + NEH	TRI + NEH	TRI IN + NEH	LPT + NEH	SPT + NEH	RAND + NEH	TRI + NEH	TRI IN + NEH	LPT + NEH	SPT + NEH	RAND + NEH	TRI + NEH	TRI IN + NEH
$\alpha = 0,6$	10	21,50	29,00	24,25	<u>29,50</u>	26,25	1,84	<u>1,16</u>	1,38	1,35	1,32	41,17	43,32	43,79	39,18	<u>34,96</u>
	20	9,75	<u>33,00</u>	20,75	22,50	14,75	2,74	<u>1,02</u>	1,66	1,68	1,79	32,89	<u>32,85</u>	33,01	32,97	41,13
	30	4,50	<u>37,75</u>	20,25	22,75	15,00	3,04	<u>0,80</u>	1,46	1,47	1,89	32,97	<u>32,93</u>	<u>32,93</u>	32,97	<u>32,93</u>
	40	1,75	<u>45,50</u>	18,75	24,75	9,25	3,58	<u>0,62</u>	1,61	1,31	2,33	<u>32,89</u>	32,93	32,97	32,93	32,93
	50	1,25	<u>50,50</u>	19,75	23,25	5,25	3,69	<u>0,53</u>	1,56	1,20	2,44	32,93	32,97	32,93	32,93	<u>32,89</u>
	60	0,25	<u>56,00</u>	14,50	23,25	6,00	3,81	<u>0,39</u>	1,57	1,06	2,34	<u>32,89</u>	32,93	32,97	32,97	<u>32,89</u>
	70	0,50	<u>60,50</u>	13,25	21,00	4,75	4,02	<u>0,33</u>	1,55	1,10	2,52	<u>32,89</u>	32,93	32,97	32,93	32,93
	80	0,50	<u>61,00</u>	13,00	22,25	3,25	4,01	<u>0,28</u>	1,50	1,01	2,36	32,93	32,93	32,97	32,97	<u>32,89</u>
	90	0,00	<u>66,00</u>	8,25	24,50	1,50	4,25	<u>0,24</u>	1,47	0,91	2,60	32,97	<u>32,89</u>	32,93	32,97	<u>32,89</u>
	100	0,00	<u>68,50</u>	10,25	20,25	1,00	4,29	<u>0,21</u>	1,40	0,85	2,66	33,36	32,93	33,09	32,97	<u>32,89</u>
	110	0,00	<u>65,75</u>	10,50	21,75	2,00	4,42	<u>0,24</u>	1,44	0,92	2,77	33,91	<u>32,93</u>	33,71	<u>32,93</u>	<u>32,93</u>
	120	0,00	<u>71,00</u>	8,50	19,75	0,75	4,32	<u>0,17</u>	1,43	0,88	2,69	34,34	32,97	33,24	<u>32,93</u>	33,13
	130	0,00	<u>68,25</u>	7,00	24,50	0,25	4,33	<u>0,17</u>	1,42	0,75	2,82	34,22	<u>32,93</u>	33,71	33,13	33,67
	140	0,00	<u>66,00</u>	9,50	24,00	0,50	4,39	<u>0,17</u>	1,45	0,74	2,84	34,89	<u>32,97</u>	33,87	33,44	34,06
	150	0,00	<u>66,75</u>	9,75	23,00	0,50	4,50	<u>0,16</u>	1,41	0,78	2,83	34,57	<u>32,93</u>	33,75	33,05	34,88
	160	0,00	<u>71,50</u>	4,75	22,75	1,00	4,53	<u>0,15</u>	1,41	0,76	2,83	33,99	<u>32,93</u>	33,75	33,28	35,31
	170	0,00	<u>67,25</u>	7,50	24,50	0,75	4,50	<u>0,16</u>	1,39	0,71	2,89	36,64	<u>32,97</u>	37,07	33,20	35,63
	180	0,00	<u>72,75</u>	4,25	23,00	0,00	4,50	<u>0,13</u>	1,46	0,76	2,94	41,80	<u>34,73</u>	42,11	36,21	39,53
	190	0,00	<u>69,00</u>	4,50	26,00	0,50	4,41	<u>0,14</u>	1,38	0,67	2,86	47,89	<u>39,30</u>	48,17	41,64	44,53
	200	0,00	<u>75,00</u>	4,75	20,00	0,25	4,53	<u>0,11</u>	1,41	0,68	2,93	53,13	<u>44,38</u>	54,57	47,42	49,69
$\alpha = 0,7$	10	21,00	27,25	23,50	<u>32,50</u>	27,25	1,80	1,38	1,50	1,41	<u>1,31</u>	45,98	38,87	38,98	39,26	<u>34,77</u>
	20	12,00	<u>30,00</u>	22,00	18,25	18,00	2,56	<u>1,12</u>	1,65	1,82	1,69	32,97	<u>32,89</u>	32,97	<u>32,89</u>	39,38
	30	5,75	<u>37,00</u>	20,00	19,75	17,75	2,75	<u>0,89</u>	1,42	1,56	1,79	<u>32,89</u>	32,97	32,93	32,93	<u>32,89</u>
	40	5,50	<u>43,50</u>	17,75	22,00	11,25	3,23	<u>0,78</u>	1,66	1,42	2,10	<u>32,89</u>	<u>32,89</u>	32,97	32,93	32,93
	50	1,50	<u>49,00</u>	18,75	23,00	7,75	3,50	<u>0,56</u>	1,63	1,36	2,22	32,93	32,93	32,97	32,97	<u>32,89</u>
	60	1,75	<u>53,75</u>	16,75	20,75	7,00	3,47	<u>0,46</u>	1,58	1,24	2,11	<u>32,93</u>	32,97	32,97	<u>32,93</u>	<u>32,93</u>
	70	0,25	<u>60,75</u>	14,00	19,25	6,00	3,75	<u>0,32</u>	1,53	1,24	2,38	32,93	<u>32,89</u>	32,97	32,97	32,97
	80	0,50	<u>58,75</u>	14,00	23,25	3,50	3,78	<u>0,33</u>	1,52	1,08	2,28	32,93	32,97	32,97	<u>32,89</u>	32,93
	90	0,00	<u>62,25</u>	11,75	23,50	2,50	3,92	<u>0,25</u>	1,45	1,06	2,36	32,97	32,93	32,93	32,97	<u>32,89</u>
	100	0,00	<u>65,00</u>	13,50	19,00	2,50	4,01	<u>0,24</u>	1,37	0,93	2,40	33,59	<u>32,93</u>	33,20	<u>32,93</u>	<u>32,93</u>
	110	0,25	<u>61,50</u>	12,50	23,00	2,75	4,09	<u>0,26</u>	1,45	0,94	2,54	34,26	<u>32,93</u>	33,95	<u>32,93</u>	34,85
	120	0,25	<u>69,75</u>	10,00	18,50	1,50	4,16	<u>0,17</u>	1,44	0,94	2,45	34,49	<u>32,97</u>	33,60	33,05	33,09
	130	0,00	<u>67,25</u>	6,75	24,25	1,75	4,22	<u>0,18</u>	1,47	0,82	2,59	34,73	<u>32,93</u>	33,98	32,97	33,56
	140	0,00	<u>70,50</u>	8,00	20,25	1,25	4,26	<u>0,15</u>	1,46	0,84	2,63	34,34	<u>32,93</u>	34,10	33,24	34,49
	150	0,00	<u>73,75</u>	7,00	18,50	0,75	4,28	<u>0,15</u>	1,45	0,81	2,67	34,57	<u>32,93</u>	33,91	33,05	35,23
	160	0,00	<u>67,75</u>	8,25	23,50	0,75	4,39	<u>0,16</u>	1,48	0,85	2,83	33,52	<u>32,93</u>	33,63	33,13	34,69
	170	0,00	<u>65,50</u>	7,75	25,75	1,00	4,40	<u>0,17</u>	1,41	0,74	2,72	37,46	<u>32,93</u>	37,07	33,32	35,71
	180	0,00	<u>73,00</u>	6,25	20,50	0,25	4,29	<u>0,14</u>	1,45	0,79	2,75	41,99	<u>34,84</u>	42,35	36,25	39,45
	190	0,00	<u>71,50</u>	4,75	23,25	0,50	4,25	<u>0,13</u>	1,39	0,71	2,71	48,09	<u>39,34</u>	48,40	41,60	44,61

	200	0,00	<u>70,75</u>	5,75	23,25	0,25	4,35	<u>0,13</u>	1,44	0,70	2,85	53,20	<u>44,49</u>	54,22	47,46	50,31
--	-----	------	--------------	------	-------	------	------	-------------	------	------	------	-------	--------------	-------	-------	-------

Fonte: Autoria própria, 2016

**Tabela 7 – Comparação entre as heurísticas LPT + NEH, SPT + NEH, Randômica + NEH, Triangular + NEH e Triangular Invertida + NEH, com variação de  $\alpha = 0,8$  à  $\alpha = 0,9$**

	Nº DE TAREFAS	% DE SUCESSO					DESVIO RELATIVO					Tempo Médio Computacional (ms)				
		LPT + NEH	SPT + NEH	RAND + NEH	TRI + NEH	TRI IN + NEH	LPT + NEH	SPT + NEH	RAND + NEH	TRI + NEH	TRI IN + NEH	LPT + NEH	SPT + NEH	RAND + NEH	TRI + NEH	TRI IN + NEH
$\alpha = 0,8$	10	23,00	28,75	22,50	<u>31,25</u>	26,75	1,70	<u>1,32</u>	1,60	1,43	1,39	42,38	42,97	<u>41,88</u>	44,81	42,81
	20	11,75	<u>32,50</u>	18,50	19,75	18,50	2,42	<u>1,18</u>	1,73	1,75	1,65	<u>32,93</u>	<u>32,93</u>	<u>32,93</u>	<u>32,93</u>	<u>32,93</u>
	30	8,75	<u>32,25</u>	21,50	20,00	17,50	2,58	<u>1,04</u>	1,53	1,58	1,69	<u>32,93</u>	<u>32,93</u>	32,97	<u>32,93</u>	<u>32,93</u>
	40	5,50	<u>38,50</u>	18,00	22,50	16,25	2,79	<u>0,83</u>	1,65	1,49	1,95	32,93	<u>32,89</u>	32,97	32,93	32,93
	50	3,00	<u>47,00</u>	18,50	22,50	9,50	3,11	<u>0,63</u>	1,62	1,38	2,13	<u>32,93</u>	32,97	32,97	32,97	<u>32,93</u>
	60	0,75	<u>53,00</u>	14,75	21,00	10,75	3,07	<u>0,47</u>	1,64	1,24	1,96	<u>32,93</u>	<u>32,93</u>	<u>32,93</u>	<u>32,93</u>	<u>32,93</u>
	70	0,25	<u>57,25</u>	14,75	18,50	9,25	3,45	<u>0,37</u>	1,52	1,30	2,11	<u>32,93</u>	<u>32,93</u>	32,97	<u>32,93</u>	<u>32,93</u>
	80	1,75	<u>56,25</u>	15,00	22,00	5,00	3,49	<u>0,36</u>	1,57	1,15	2,14	<u>32,89</u>	32,93	32,93	32,93	<u>32,89</u>
	90	0,50	<u>62,00</u>	13,25	20,25	4,25	3,73	<u>0,27</u>	1,59	1,18	2,24	33,01	32,97	33,09	<u>32,93</u>	<u>32,93</u>
	100	0,25	<u>65,50</u>	10,25	18,50	5,50	3,76	<u>0,27</u>	1,51	1,06	2,27	33,56	32,93	33,44	<u>32,89</u>	32,93
	110	0,25	<u>63,25</u>	10,75	23,00	3,00	3,89	<u>0,25</u>	1,62	0,99	2,41	34,26	32,97	33,99	32,93	<u>32,89</u>
	120	0,00	<u>70,25</u>	9,50	17,25	3,00	3,90	<u>0,20</u>	1,50	1,04	2,42	33,91	<u>32,93</u>	34,10	33,20	33,01
	130	0,25	<u>66,00</u>	9,00	22,50	2,25	3,96	<u>0,22</u>	1,55	0,92	2,50	34,34	<u>32,89</u>	33,13	33,48	33,40
	140	0,00	<u>67,75</u>	7,75	21,75	2,75	4,07	<u>0,18</u>	1,56	0,90	2,55	34,57	<u>32,97</u>	33,83	33,60	34,81
	150	0,25	<u>70,75</u>	8,25	19,25	1,50	3,96	<u>0,14</u>	1,49	0,92	2,57	33,75	<u>32,93</u>	33,75	33,98	34,69
	160	0,50	<u>72,75</u>	5,75	20,50	0,50	4,11	<u>0,15</u>	1,55	0,85	2,61	33,55	<u>32,93</u>	33,52	33,01	34,73
	170	0,00	<u>71,50</u>	7,75	20,75	0,00	4,22	<u>0,14</u>	1,44	0,82	2,62	36,68	<u>32,97</u>	37,19	33,40	34,92
	180	0,00	<u>74,25</u>	6,50	18,00	1,25	4,27	<u>0,13</u>	1,53	0,84	2,69	42,35	<u>34,85</u>	42,35	36,76	39,53
	190	0,00	<u>71,75</u>	4,50	23,00	0,75	4,15	<u>0,13</u>	1,42	0,72	2,60	47,70	<u>39,42</u>	48,63	42,11	43,99
	200	0,00	<u>76,00</u>	3,50	20,00	0,50	4,12	<u>0,10</u>	1,49	0,78	2,62	53,09	<u>44,61</u>	54,14	47,85	50,78
$\alpha = 0,9$	10	24,75	28,25	25,50	<u>32,00</u>	27,25	1,58	1,37	1,53	<u>1,34</u>	1,48	<u>39,10</u>	41,72	49,57	39,14	42,27
	20	13,75	<u>28,50</u>	19,25	21,25	18,25	2,05	<u>1,29</u>	1,65	1,69	1,57	<u>32,93</u>	<u>32,93</u>	32,97	<u>32,93</u>	<u>32,93</u>
	30	9,00	<u>30,50</u>	20,25	23,25	17,50	2,25	<u>1,13</u>	1,50	1,42	1,63	32,93	32,93	32,97	32,97	<u>32,89</u>
	40	10,50	<u>34,75</u>	17,00	20,75	17,50	2,23	<u>0,89</u>	1,62	1,49	1,65	<u>32,93</u>	<u>32,93</u>	<u>32,93</u>	32,97	<u>32,93</u>
	50	5,75	<u>41,50</u>	17,75	20,75	14,50	2,45	<u>0,78</u>	1,53	1,40	1,82	32,97	32,97	32,97	<u>32,89</u>	<u>32,89</u>
	60	4,25	<u>50,25</u>	14,75	18,25	12,75	2,58	<u>0,52</u>	1,71	1,40	1,77	<u>32,93</u>	<u>32,93</u>	32,97	32,97	<u>32,93</u>
	70	2,50	<u>48,75</u>	16,75	20,25	12,25	2,90	<u>0,51</u>	1,48	1,37	1,93	42,46	32,93	32,97	32,97	<u>32,89</u>
	80	2,25	<u>55,50</u>	14,00	16,75	11,50	2,92	<u>0,43</u>	1,61	1,23	1,79	<u>32,89</u>	32,97	32,93	32,93	<u>32,89</u>
	90	1,50	<u>62,50</u>	13,00	17,25	6,00	3,13	<u>0,35</u>	1,58	1,29	2,00	32,97	<u>32,93</u>	32,97	<u>32,93</u>	<u>32,93</u>
	100	1,25	<u>53,75</u>	12,50	23,75	9,00	3,24	<u>0,37</u>	1,59	1,09	2,01	32,93	32,93	33,56	<u>32,89</u>	32,93
	110	0,75	<u>58,25</u>	12,25	21,25	7,50	3,29	<u>0,34</u>	1,70	1,07	2,11	<u>32,93</u>	<u>32,93</u>	33,60	<u>32,93</u>	<u>32,93</u>
	120	1,00	<u>66,25</u>	8,50	18,25	6,00	3,34	<u>0,24</u>	1,59	1,10	2,14	<u>32,97</u>	<u>32,97</u>	33,24	33,20	33,24
	130	0,25	<u>67,25</u>	9,25	20,00	3,25	3,28	<u>0,22</u>	1,53	1,03	2,27	<u>32,89</u>	32,93	34,30	33,44	33,52
	140	0,25	<u>67,75</u>	8,25	20,75	3,00	3,54	<u>0,20</u>	1,59	1,00	2,25	<u>33,01</u>	32,97	33,36	33,67	34,41
	150	0,00	<u>67,75</u>	9,75	19,25	3,50	3,47	<u>0,21</u>	1,61	0,99	2,22	39,22	<u>32,97</u>	33,59	33,20	34,73
	160	0,50	<u>73,25</u>	5,50	18,50	2,25	3,59	<u>0,14</u>	1,63	0,91	2,37	33,21	<u>32,93</u>	33,44	33,28	35,63
	170	0,50	<u>72,75</u>	6,50	18,50	1,75	3,67	<u>0,16</u>	1,55	0,87	2,29	36,48	<u>33,01</u>	37,15	33,63	35,47
	180	0,00	<u>75,25</u>	6,25	17,00	1,50	3,76	<u>0,13</u>	1,63	0,98	2,42	41,45	<u>34,73</u>	42,42	36,88	38,71

190	0,25	<u>74,75</u>	5,25	19,00	0,75	3,64	<u>0,14</u>	1,50	0,83	2,32	47,11	<u>39,42</u>	48,24	41,80	44,61
200	0,00	<u>71,50</u>	6,00	21,50	1,00	3,73	<u>0,14</u>	1,59	0,81	2,44	53,13	<u>44,61</u>	54,38	47,89	50,08

Fonte: Autoria própria, 2016.

**Tabela 8 – Comparação entre as heurísticas LPT + NEH, SPT + NEH, Randômica + NEH, Triangular + NEH e Triangular Invertida + NEH, com variação de  $\alpha = 1,0$**

Nº DE TAREFAS	% DE SUCESSO					DESVIO RELATIVO					Tempo Médio Computacional (ms)				
	LPT + NEH	SPT + NEH	RAND + NEH	TRI + NEH	TRI IN + NEH	LPT + NEH	SPT + NEH	RAND + NEH	TRI + NEH	TRI IN + NEH	LPT + NEH	SPT + NEH	RAND + NEH	TRI + NEH	TRI IN + NEH
10	32,00	<u>38,25</u>	35,75	37,75	33,50	1,61	1,46	1,65	<u>1,42</u>	1,65	41,88	41,95	40,90	<u>39,26</u>	46,84
20	19,50	<u>29,50</u>	24,75	27,50	26,75	1,78	<u>1,34</u>	1,59	1,43	1,48	<u>32,93</u>	<u>32,93</u>	32,97	<u>32,93</u>	32,97
30	18,00	24,25	23,75	<u>26,75</u>	24,00	1,67	<u>1,24</u>	1,47	1,27	1,42	32,97	32,97	32,93	32,93	<u>32,85</u>
40	20,00	<u>28,50</u>	20,75	23,50	22,00	1,39	<u>1,02</u>	1,20	1,10	1,24	32,93	32,93	32,97	32,93	<u>32,89</u>
50	18,25	<u>27,25</u>	23,75	25,25	21,00	1,26	<u>0,91</u>	1,11	0,97	1,03	<u>32,93</u>	32,97	<u>32,93</u>	32,97	<u>32,93</u>
60	20,00	<u>29,25</u>	18,25	26,50	21,00	1,23	<u>0,86</u>	1,13	0,89	1,04	<u>32,93</u>	<u>32,93</u>	32,97	<u>32,93</u>	<u>32,93</u>
70	17,75	<u>29,25</u>	22,50	22,25	21,75	1,09	<u>0,80</u>	0,95	0,89	0,98	32,97	32,97	32,93	32,97	<u>32,89</u>
80	19,00	<u>27,25</u>	21,00	24,00	21,50	0,98	<u>0,71</u>	0,88	0,72	0,85	<u>32,93</u>	<u>32,93</u>	32,97	<u>32,93</u>	<u>32,93</u>
90	18,75	<u>29,50</u>	21,50	25,75	15,75	0,98	<u>0,63</u>	0,85	0,69	0,93	32,93	32,97	33,05	<u>32,89</u>	32,93
100	17,75	<u>28,25</u>	18,00	25,75	19,75	0,90	<u>0,61</u>	0,80	0,62	0,79	33,75	32,93	33,40	33,01	<u>32,89</u>
110	18,50	<u>31,00</u>	17,50	23,00	22,75	0,88	<u>0,53</u>	0,83	0,68	0,76	34,02	32,97	33,75	32,93	<u>32,89</u>
120	17,75	<u>28,00</u>	15,75	27,00	21,25	0,81	<u>0,55</u>	0,82	0,64	0,66	34,42	<u>32,89</u>	33,13	33,13	33,36
130	19,00	<u>28,50</u>	21,25	27,00	18,75	0,71	<u>0,52</u>	0,73	0,55	0,63	35,16	<u>33,01</u>	33,56	33,36	33,52
140	18,75	<u>29,25</u>	17,75	28,25	16,25	0,73	<u>0,49</u>	0,71	0,56	0,69	35,24	<u>32,93</u>	33,79	33,56	33,99
150	20,50	<u>29,00</u>	16,25	23,25	21,00	0,70	<u>0,51</u>	0,72	0,59	0,67	34,65	<u>32,93</u>	33,56	33,52	34,22
160	18,00	<u>28,50</u>	18,25	22,00	21,00	0,69	<u>0,50</u>	0,67	0,56	0,61	33,87	<u>32,93</u>	33,63	33,36	34,34
170	17,00	26,25	16,50	<u>26,75</u>	20,50	0,68	0,51	0,67	<u>0,46</u>	0,63	36,80	<u>32,93</u>	37,50	33,52	35,16
180	19,00	<u>29,75</u>	18,00	23,50	19,50	0,60	<u>0,44</u>	0,61	0,52	0,62	42,07	<u>34,92</u>	42,35	36,53	39,14
190	17,00	<u>29,00</u>	19,75	19,00	22,00	0,58	<u>0,42</u>	0,59	0,49	0,53	47,46	<u>39,57</u>	48,16	42,15	45,35
200	18,00	<u>32,50</u>	17,50	22,00	18,50	0,60	<u>0,45</u>	0,59	0,48	0,57	52,93	<u>44,69</u>	54,49	47,74	50,35

Fonte: Autoria própria, 2016.

Ao analisar o desempenho da heurística LPT + NEH para todos os valores do parâmetro alfa que foram assumidos para a porcentagem de sucesso, a mesma não possui soluções muito favoráveis em relação ao *flowtime* com  $\alpha$  variando de 0,0 até 0,9, obtendo maiores porcentagens de sucesso quando são processadas 10 tarefas. Nesse caso as melhores soluções foram encontradas para valores de  $\alpha = 0,8$  e  $0,9$  com sucesso de 23% e 24,75% respectivamente. Em relação ao *makespan* ( $\alpha = 1,0$ ) a heurística apresenta melhores resultados em relação à porcentagem de sucesso obtendo 32% quando estão sendo processadas 10 tarefas.

A heurística SPT + NEH é a que apresenta o melhor desempenho na maioria dos casos, seja para *makespan* quanto para *flowtime* independente da variação do parâmetro alfa, conseqüentemente a mesma possui o menor desvio relativo médio na maioria dos casos quando comparados às outras heurísticas.

Quando analisado as soluções da função biobjetivo da porcentagem de sucesso para a heurística randômica + NEH, a mesma apresenta grande variação em relação ao *flowtime* desde  $\alpha = 0$  até  $\alpha = 0,9$  (5,25 – 25,5). Já em relação ao *makespan* ( $\alpha = 1,0$ ) seus valores são melhores atingindo uma porcentagem de sucesso de 35,75.

A heurística Triangular + NEH apresenta melhores soluções da função biobjetivo de porcentagem de sucesso desde  $\alpha = 0,4$  até  $\alpha = 0,9$  quando estão sendo processadas 10 tarefas. Porém com o aumento do número de tarefas seu desempenho diminui, mas continua tendo bons resultados quando comparada as outras heurísticas em análise.

A última heurística a ser analisada no presente trabalho, a heurística Triangular Invertida + NEH, assim como a heurística LPT + NEH não apresenta resultados expressivos tendo como melhor desempenho uma porcentagem de sucesso de 27,25 com  $\alpha = 0,7$  e  $\alpha = 0,9$  sendo executadas 10 tarefas. Com o aumento do número de tarefas o desempenho fica ainda pior. Em relação ao *makespan* ( $\alpha = 1,0$ ), o desempenho é um pouco melhor alcançando um valor de sucesso de 33,5 ainda assim abaixo das outras heurísticas em análise.

Dentre as cinco heurísticas analisadas no presente trabalho as que apresentam melhores desempenhos são as heurísticas SPT + NEH e Triangular + NEH.

Para os valores da função biobjetivo com  $\alpha = 0,8$ , a heurística SPT + NEH apresenta a maior porcentagem de sucesso (76% para 200 tarefas), por consequência a mesma apresentou o menor desvio relativo médio (0,1 para 200 tarefas). Enquanto a heurística Triangular + NEH apresenta maior valor significativo para porcentagem de sucesso para 10 tarefas (31,25) e o segundo maior valor significativo para os demais casos. Relacionado ao tempo médio de computação a heurística SPT + NEH apresenta resultado menores que os demais por catorze vezes.

Em relação ao *makespan* ( $\alpha = 1,0$ ) a heurística SPT + NEH obteve melhores resultados por dezoito vezes, atingindo um valor máximo de sucesso de 38,25. Por outro lado, a heurística Triangular + NEH, foi a segunda com maior sucesso, obtendo os melhores resultados por duas vezes, com 30 e 170 tarefas atingindo um sucesso de 26,75 em ambas as situações. Os menores tempos médios de computação estão relacionados ao método SPT + NEH.

Para *Flowtime*,  $\alpha = 0$  até  $\alpha = 0,9$ , a medida que aumenta o número de tarefas a serem processadas, melhores foram os resultados de porcentagem de sucesso e consequentemente do desvio relativo médio da heurística SPT + NEH em relação as demais heurísticas em análise no presente trabalho.

A experimentação computacional pode demonstrar que dentre as cinco heurísticas que foram utilizadas LPT + NEH, SPT + NEH, Randômica + NEH, Triangular + NEH e Triangular Invertida + NEH, as que obtiveram maior destaque foram somente duas, SPT + NEH e Triangular + NEH. No experimento como um todo a heurística que apresentou melhores soluções para a porcentagem de sucesso foi a SPT + NEH com valores de 75% para  $\alpha = 0,6$  e 76% para  $\alpha = 0,8$  com 200 tarefas em processamento.

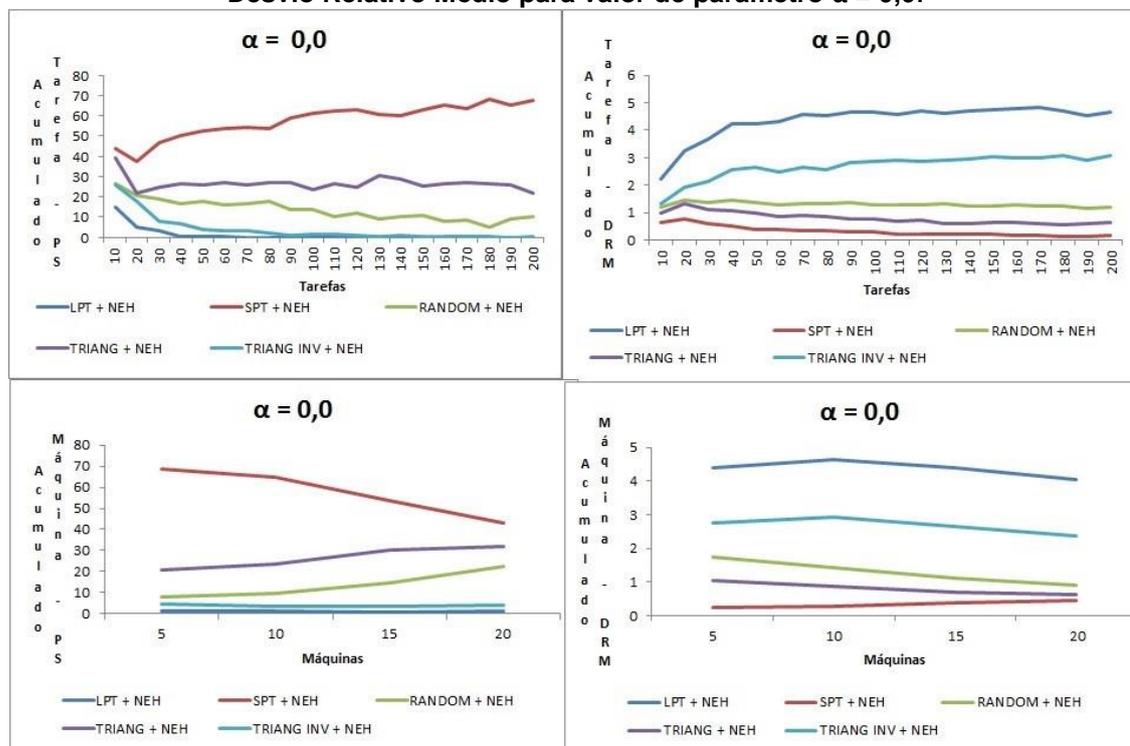
Pode-se perceber que a variação do parâmetro alfa não possui uma influência direta na qualidade da solução, pois em alguns casos havia uma diminuição no desempenho das heurísticas e em outros casos havia uma melhora no desempenho.

Outra observação a ser feita é que independente da variação do parâmetro alfa, o tempo médio computacional das heurísticas são muito parecidos, o que permite afirmar que o processo de escolha da melhor heurística a ser utilizada para minimização da função biobjetivo, foco desse trabalho, deve se basear no desempenho das heurísticas em relação a porcentagem de sucesso e do desvio relativo médio.

Por uma análise geral dos tempos médios de computação, a heurística com melhor desempenho foi a SPT + NEH, obtendo menores tempos na maioria das situações analisadas.

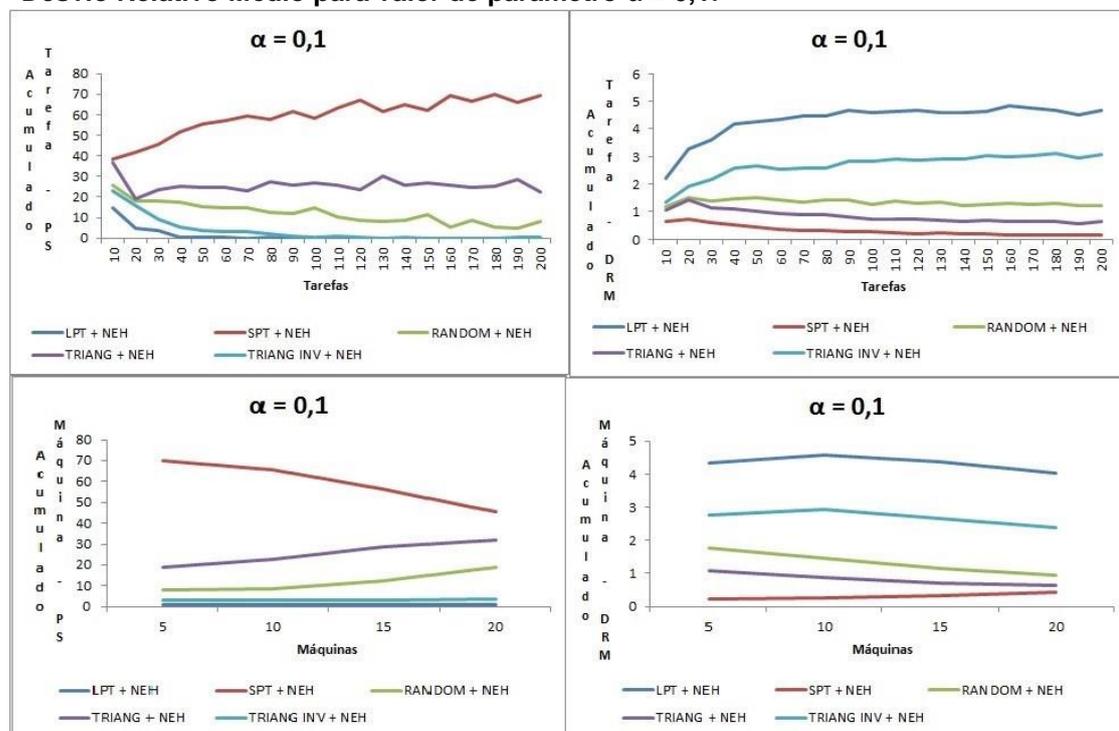
Para melhorar o entendimento das Tabelas 3, 4, 5, 6, 7 e 8, que apresentam os valores da função objetivo para a porcentagem de sucesso (PS), desvio relativo médio ( $DR_x$ ) e tempo médio computacional (TMC) de acordo com a variação do parâmetro alfa e o número de tarefas. São apresentadas as Figuras 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 e 30, que representam os valores destas tabelas. Para cada valor de alfa, há a separação em dois gráficos. um deles analisa a variação de PS, DRM e TMC de acordo com a variação do número de tarefas (totaliza vinte pontos no gráfico, pois são vinte possibilidades de quantidades de tarefas que são propostas na análise do presente trabalho). O outro gráfico analisa a variação de PS, DRM e TMC de acordo com a variação do número de máquinas (totalizando quatro pontos no gráfico, visto que são analisadas, 5, 10, 15 e 20 máquinas).

**Figura 20 – Gráficos de Acumulado de Tarefa e Máquina para Porcentagem de Sucesso e Desvio Relativo Médio para valor de parâmetro  $\alpha = 0,0$ .**



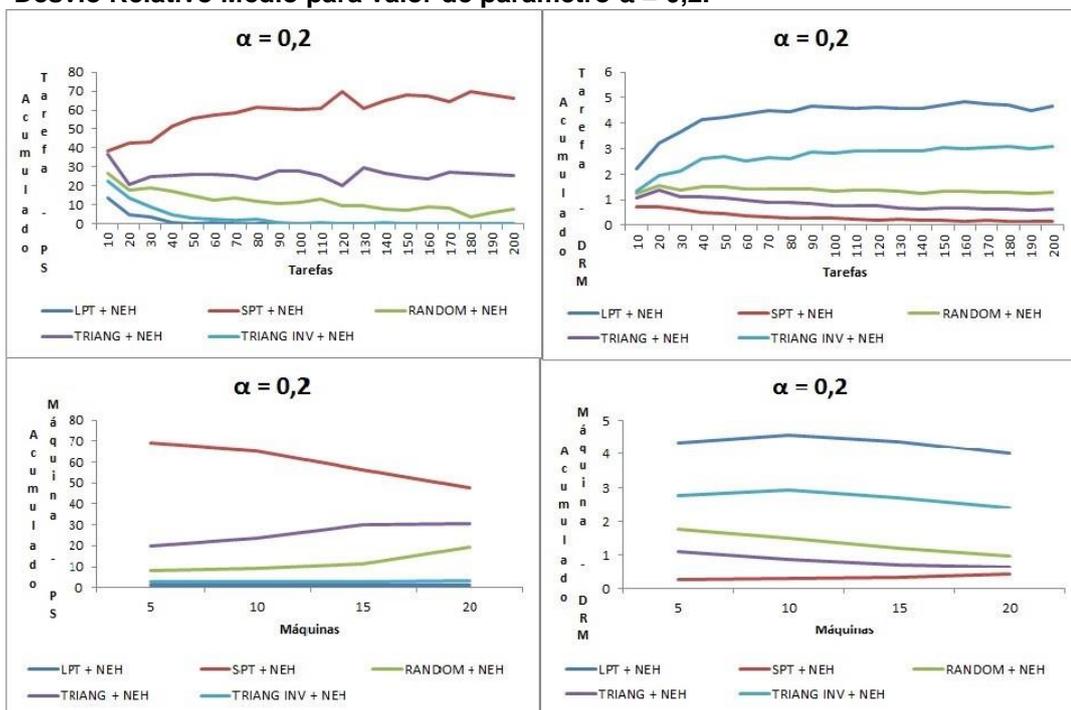
Fonte: Autoria própria, 2016.

**Figura 21 – Gráficos de Acumulado de Tarefa e Máquina para Porcentagem de Sucesso e Desvio Relativo Médio para valor de parâmetro  $\alpha = 0,1$ .**



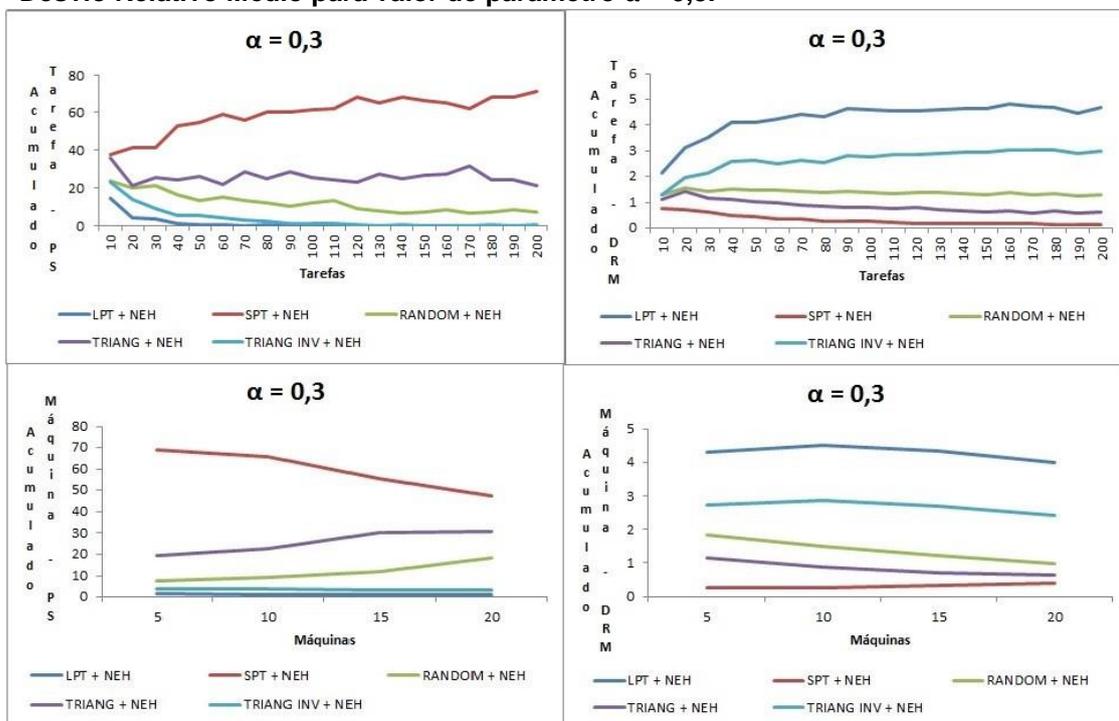
Fonte: Autoria própria, 2016.

**Figura 22 – Gráficos de Acumulado de Tarefa e Máquina para Porcentagem de Sucesso e Desvio Relativo Médio para valor de parâmetro  $\alpha = 0,2$ .**



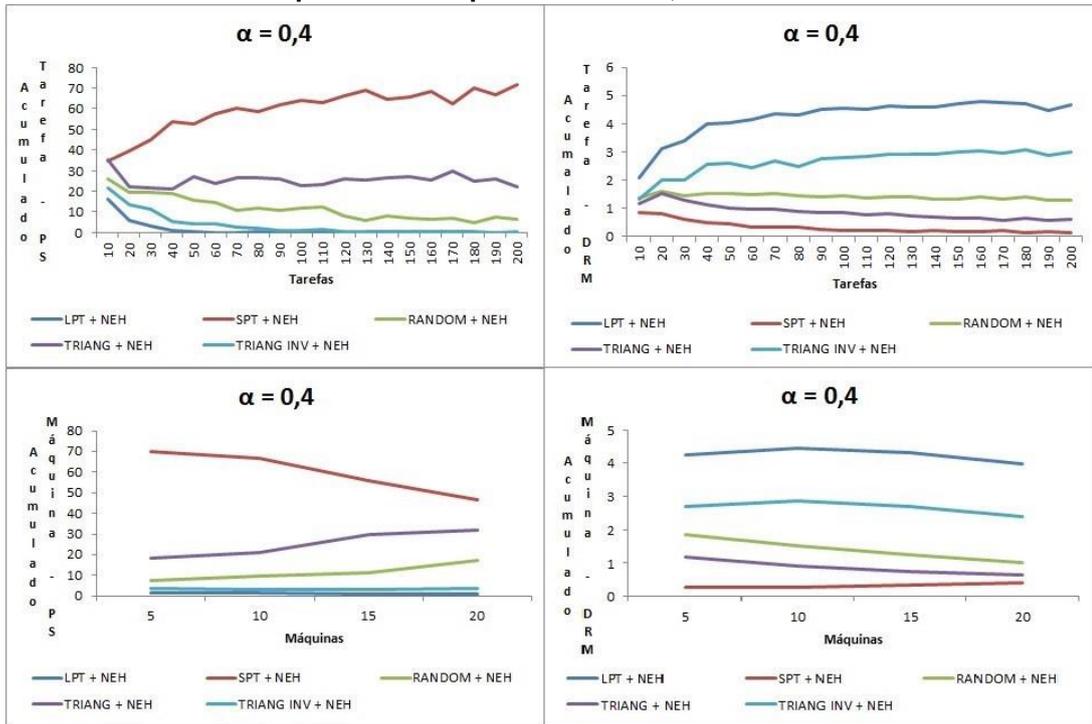
Fonte: Autoria Própria, 2016.

**Figura 23– Gráficos de Acumulado de Tarefa e Máquina para Porcentagem de Sucesso e Desvio Relativo Médio para valor de parâmetro  $\alpha = 0,3$ .**



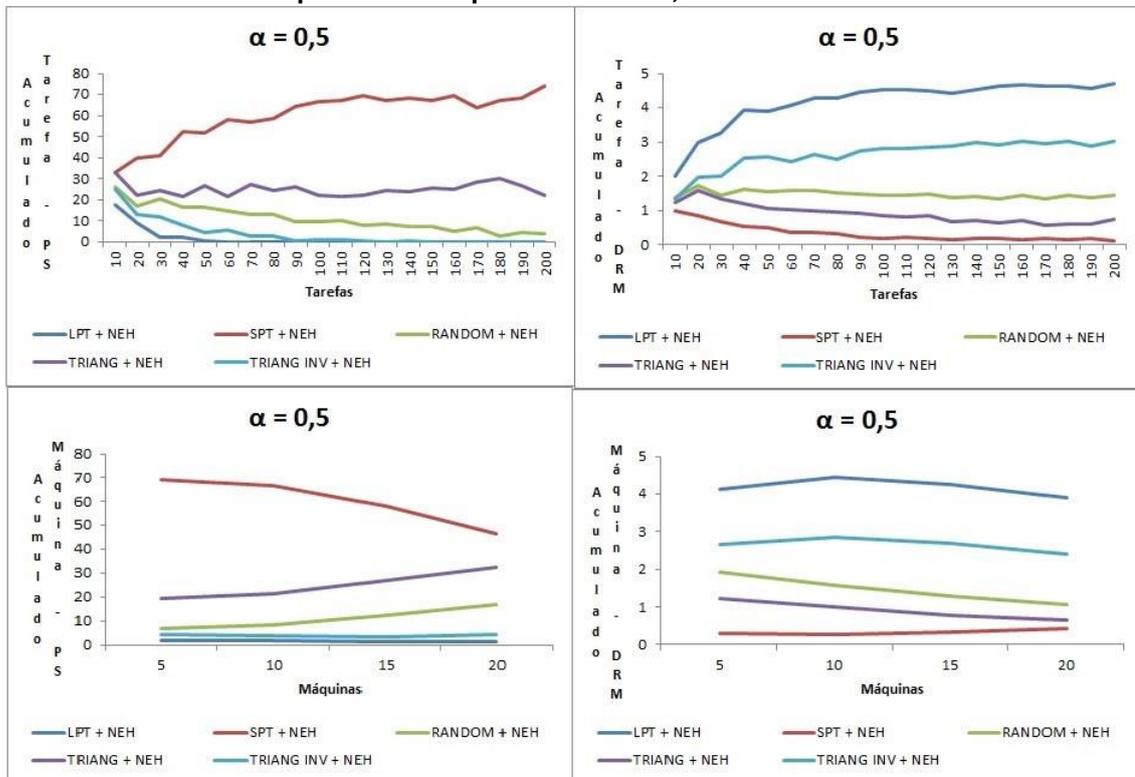
Fonte: Autoria própria, 2016.

**Figura 24 – Gráficos de Acumulado de Tarefa e Máquina para Porcentagem de Sucesso e Desvio Relativo Médio para valor de parâmetro  $\alpha = 0,4$ .**



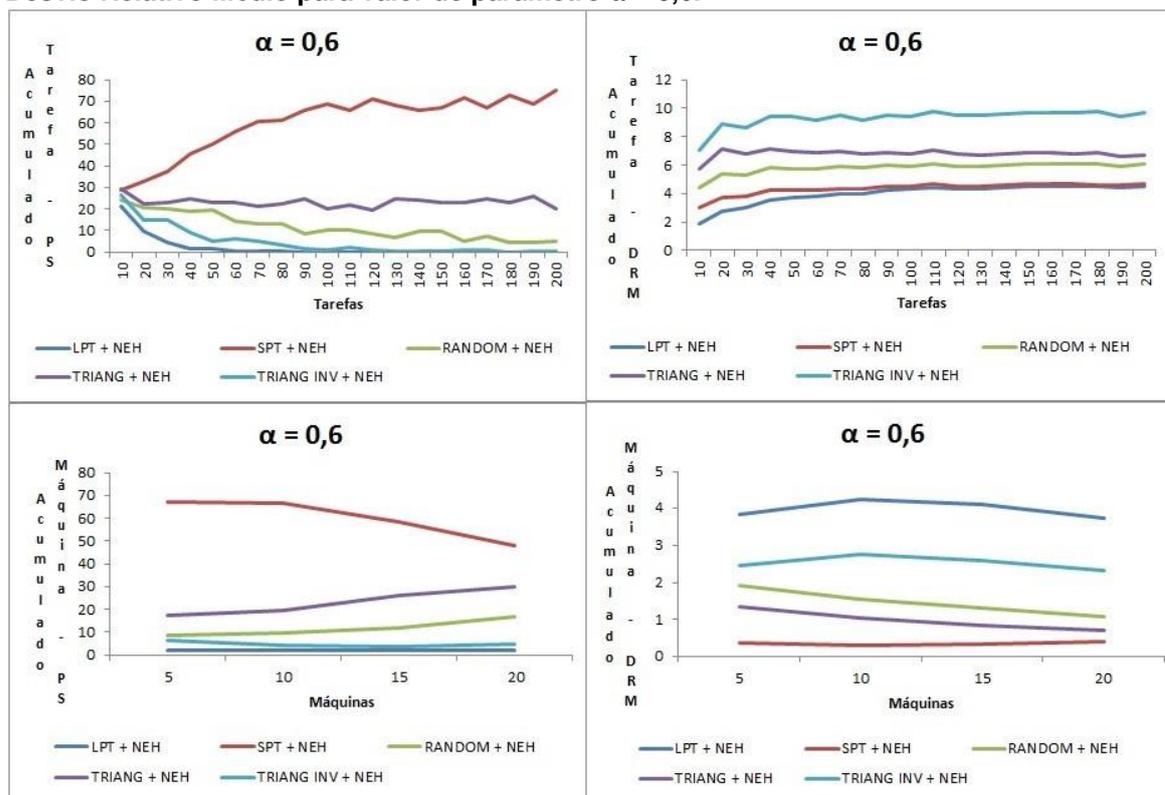
Fonte: Autoria própria, 2016.

**Figura 25 – Gráficos de Acumulado de Tarefa e Máquina para Porcentagem de Sucesso e Desvio Relativo Médio para valor de parâmetro  $\alpha = 0,5$ .**



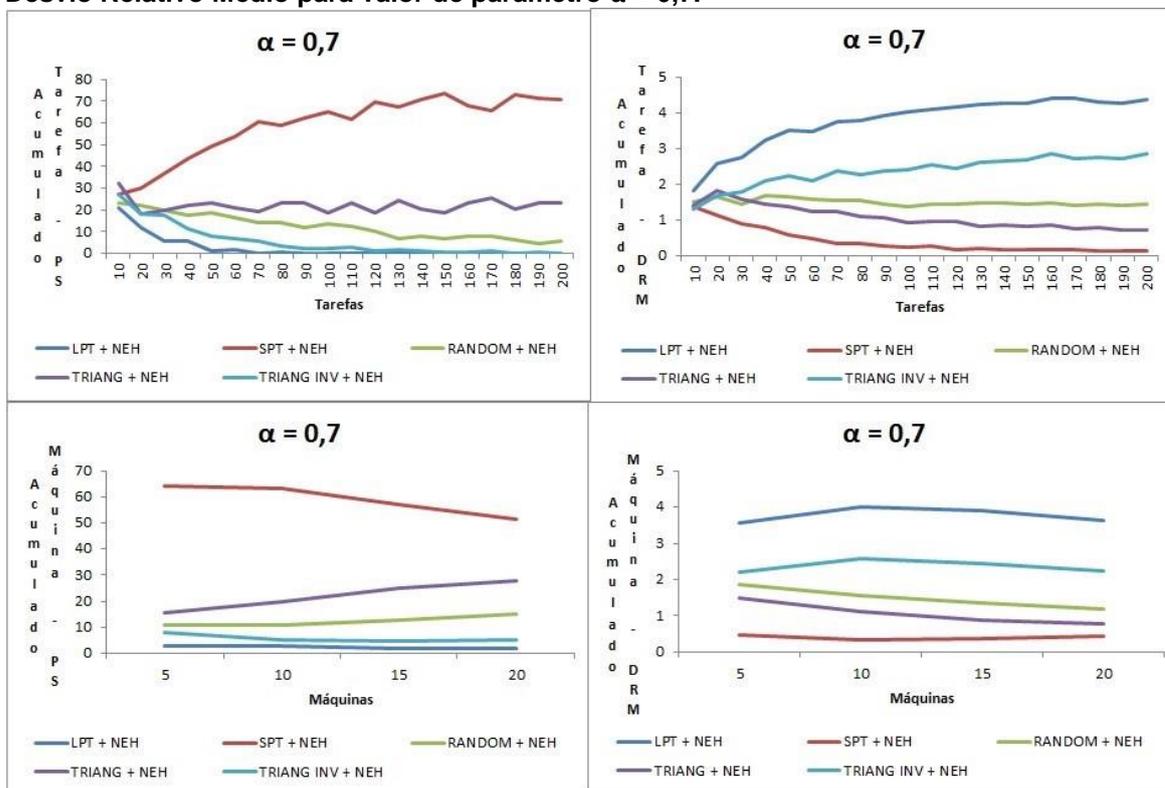
Fonte: Autoria própria, 2016.

Figura 26 – Gráficos de Acumulado de Tarefa e Máquina para Porcentagem de Sucesso e Desvio Relativo Médio para valor de parâmetro  $\alpha = 0,6$ .



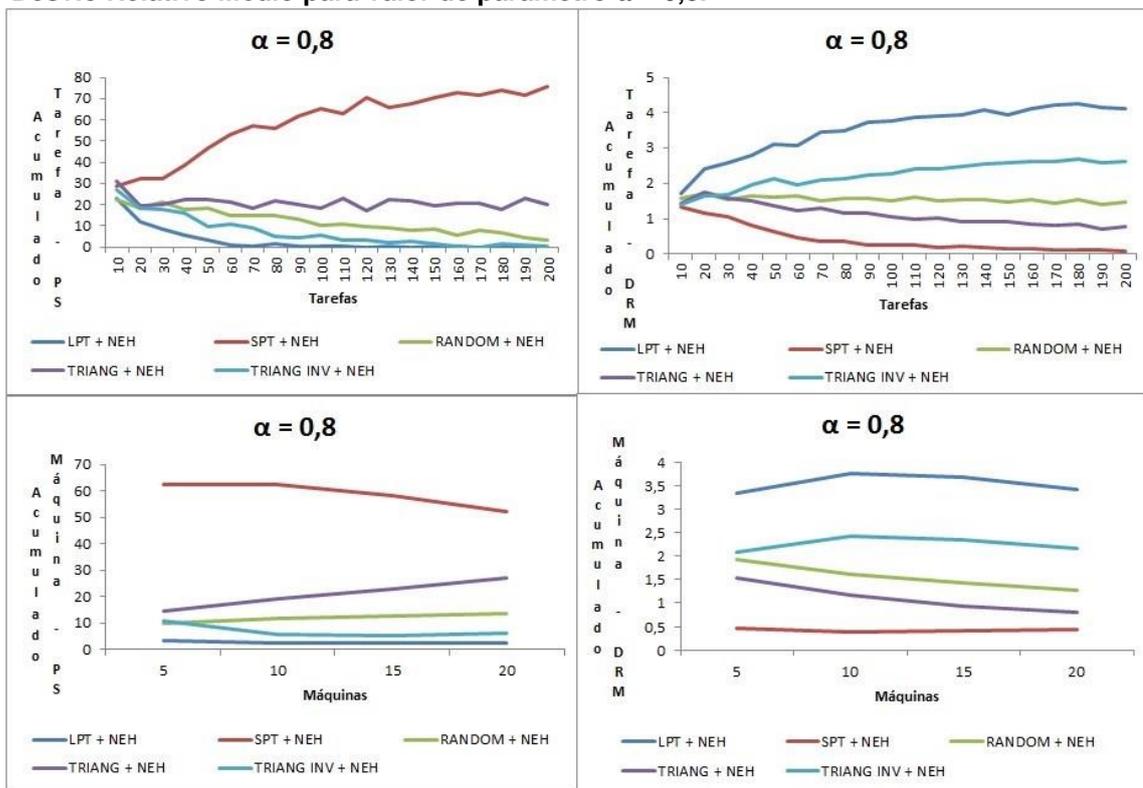
Fonte: Autoria própria, 2016.

Figura 27 – Gráficos de Acumulado de Tarefa e Máquina para Porcentagem de Sucesso e Desvio Relativo Médio para valor de parâmetro  $\alpha = 0,7$ .



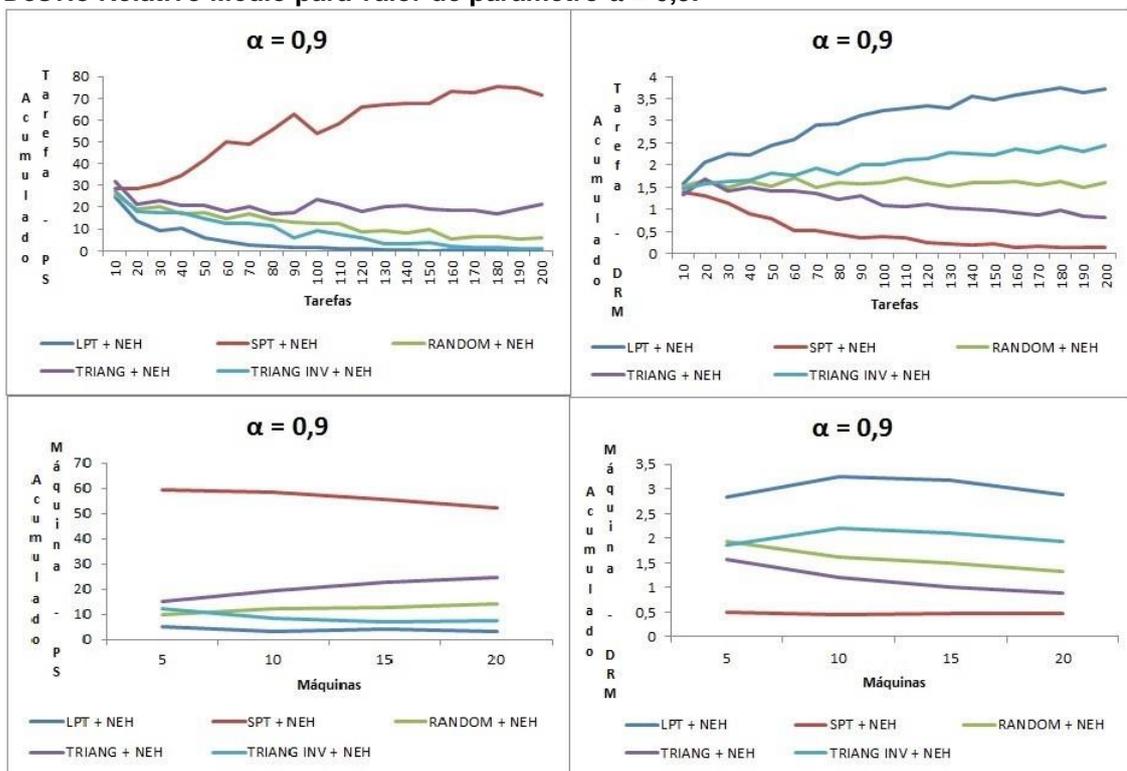
Fonte: Autoria própria, 2016.

**Figura 28 – Gráficos de Acumulado de Tarefa e Máquina para Porcentagem de Sucesso e Desvio Relativo Médio para valor de parâmetro  $\alpha = 0,8$ .**



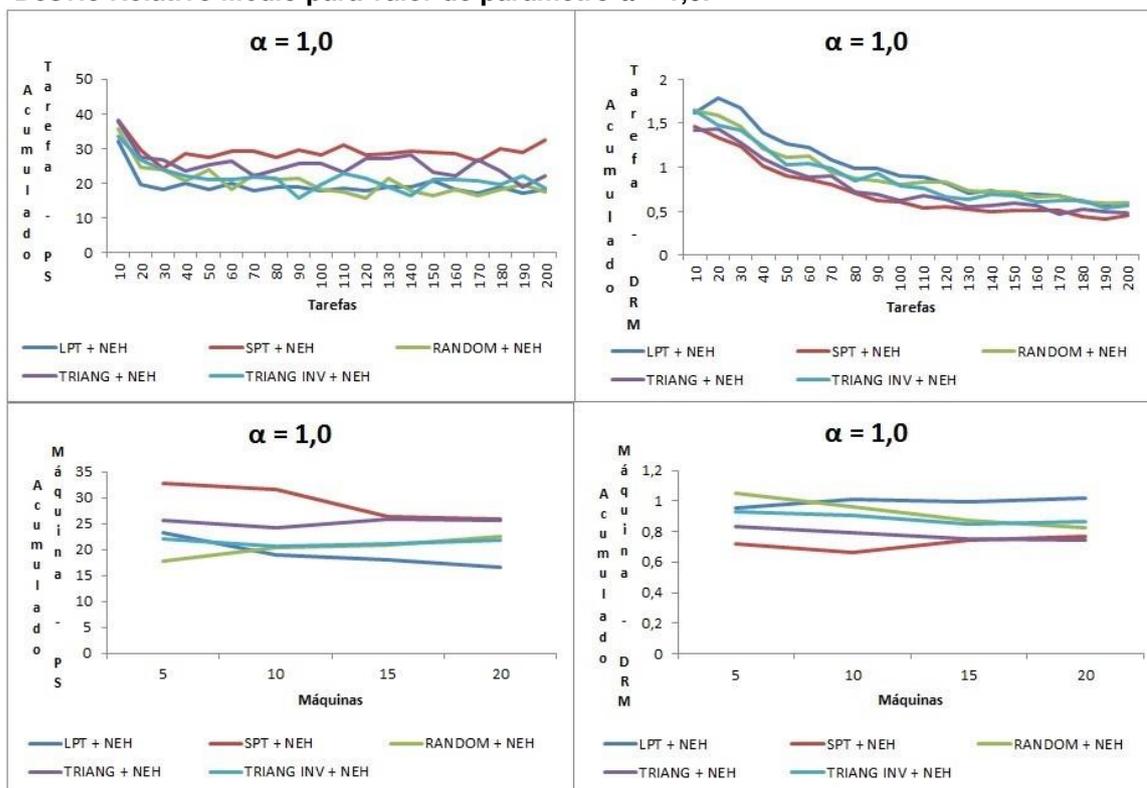
Fonte: Autoria própria, 2016.

**Figura 29 – Gráficos de Acumulado de Tarefa e Máquina para Porcentagem de Sucesso e Desvio Relativo Médio para valor de parâmetro  $\alpha = 0,9$ .**



Fonte: Autoria própria, 2016.

**Figura 30 – Gráficos de Acumulado de Tarefa e Máquina para Porcentagem de Sucesso e Desvio Relativo Médio para valor de parâmetro  $\alpha = 1,0$ .**



Fonte: Autoria própria, 2016.

Com base nos gráficos das Figuras 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29 e 30, a heurística SPT + NEH é a que apresenta melhor desempenho para a minimização da função biobjetivo proposta no trabalho, e permite afirmar também que quanto maior o número de tarefas a ser executadas, maior é a eficiência dessa heurística em relação as outras heurísticas analisadas.

É possível observar uma relação entre as heurísticas LPT + NEH e Triangular Invertida + NEH, que na maioria dos casos analisados apresentam os piores desempenhos quando comparadas as demais, seja em relação a porcentagem de sucesso ou em relação ao desvio relativo médio.

## 7 CONCLUSÕES

As heurísticas avaliadas no presente trabalho, SPT, SPT + NEH, LPT, LPT + NEH, Randômica, Randômica + NEH, Triangular, Triangular + NEH, Triangular Invertida e Triangular Invertida + NEH, foram adaptadas ao problema *no-wait* com o objetivo de analisar o comportamento das mesmas perante a uma função objetivo além de testar a eficiência da heurística NEH a partir da solução inicial gerada pelas demais heurísticas.

Este trabalho teve como objetivo atuar em um problema de programação de tarefas em máquinas em um ambiente *flowshop* com restrição *no-wait*, com base na função objetivo,  $fO = \{\alpha \times Makespan + (1 - \alpha) \times Flowtime\}$ , que busca obter uma solução por meio da combinação de *makespan* e *flowtime*. O parâmetro alfa foi inserido a fim de que fosse possível avaliar o quanto a heurística NEH melhoraria a solução inicial das demais heurísticas para *makespan* ou *flowtime* e também avaliar qual das heurísticas com o NEH em análise o parâmetro demonstra maior favorecimento da solução em relação ao *makespan* e ao *flowtime*.

Foram realizadas 880.000 resoluções de problemas, que são provenientes dos cálculos da função objetivo para cada uma das 10 heurísticas, para cada um dos 11 valores de alfa, uma vez que para cada cálculo existem 8000 instâncias.

O presente trabalho demonstrou que, independente da variação do parâmetro alfa, a heurística NEH apresentou uma melhora significativa na solução inicial gerada pelas demais heurísticas analisadas, provando dessa maneira a sua eficiência em relação às demais.

A partir da análise das cinco heurísticas combinadas ao NEH, pode-se observar que a heurística SPT + NEH foi a que obteve o melhor desempenho em relação a porcentagem de sucesso e desvio relativo médio na grande maioria dos casos analisados, seja para *makespan* ou para o *flowtime*, independentemente do número de tarefas que estavam sendo analisados. Os tempos médios de computação entre todas as heurísticas foram equivalentes e baixos, tornando dessa forma viável a utilização das heurísticas para a resolução do problema. As heurísticas devem prezar pela resposta de alta qualidade de solução em tempo de computação pouco custoso.

Este trabalho pode ser utilizado em aplicações futuras, utilizando estas mesmas ordenações em outros cenários, adaptando-as a sistemas de produção com diferentes funções objetivos e/ou restrições.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADIRI, I; POHORYLES, D. **No-idle Flow Shop or no-wait Scheduling to Minimize the sum of Completion Times**. Naval Research Logistics, v.29, n.3, p.495-504. 1982

BAPTISTE, P.; HGUNY, L. K. **A Branch and Bound Algorithm for the F/no-idle/Cmax**. In Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Production Management, IEPM'97, v.1, p.429-438, Lyon, France. 1997.

BARAZ, D.; MOSHEIOV, G. **A Note on a Greedy Heuristic for Flow-shop Makespan Minimization With no Machine idle-time**. European Journal of Operational Research, v.184, n.2, p.810-813. 2008.

BOIKO, T. J. P. **Métodos Heurísticos para a Programação em Flow Shop Permutacional com Tempos de Setup Separados dos Tempos de Processamento e Independentes da Sequência de Tarefas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. 2008.

BONNEY, M.C.; GUNDRY, S.W. **Solutions to the Constrained Flowshop Sequencing Problem**. Operations Research Quarterly, v.24, p.869-883. 1976.

BRANCO, F. J. C. **Avaliação de métodos heurísticos para o problema no-wait flowshop com o critério de minimização da duração total da programação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. 2006.

BRANCO, F. J. C. **Um Novo Método Heurístico Construtivo de Alto Desempenho para o Problema No-Idle Flow Shop**. Dissertação (Doutorado em Engenharia de Produção). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. 2011.

BRANCO, F. J. C; DOS SANTOS, A. L. **Avaliação de Ordenções Iniciais Para o Problema Flowshop com Restrição No-Wait e Minimização de Função-Objetivo Ponderada Entre Makespan e Flowtime.** Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. 2016.

CAMPBELL, H.G; DUDEK, R.A.; SMITH, M.L. **A Heuristic Algorithm for the n-Job, m-Machine Sequencing Problem.** Management Science, Providence, v.16, n.9, p.630-637, May, 1970.

CHEN, C; NEPPALLI, R.V; ALJABER N. **Genetic Algorithms Applied to the Continuous Flow Shop Problem.** Computer Industrial Engineers, v.30, n.4, p.919-929. 1996.

CRUZ, F. E. V; BRANCO, F. J. C. **Análise de Métodos Para Solução Problema de Programação de Operações Flowshop,** Simpósio de Engenharia de Produção. 2009.

DANNENBRING, D.G. **An Evaluation of Flow Shop Sequencing Heuristics.** Management Science, Providence, v.23, n.11, p.1174-1182, July, 1977.

DEMAN, J. M. V; BAKER K. R. **Minimizing Mean Flowtime in the Flow Shop With No Intermediate Queues.** IIE Transactions, v.6, n.1, p.28-34. 1974

DONG, X; HUANG, H; CHEN, P. **An Improved NEH-based Heuristic for the Permutacion Flowshop Problem.** Computer & Operations Research, Amsterdam, v.35, n.12, p.3962-3968, Dez, 2008.

FRASCATI, G. **Programação da Produção em Máquina Única com Setup Dependente da Sequência e Terceirização permitida:** Uma Abordagem de Otimização por Colônia de Formigas. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2014.

FUCHIGAMI, H. Y. **Flexible Flow Line com Tempos de Setup: Métodos Heurísticos**. Dissertação (Doutorado em Engenharia de Produção). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. 2010.

FUCHIGAMI, H. Y. **Métodos Heurísticos Construtivos para o Problema de Programação da Produção em Sistemas Flow Shop Híbridos com Tempos de Preparação das Máquinas Assimétricos e Dependentes da Sequência**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. 2005.

GANGADHARAN, R; RAJENDRAN, C. **Heuristic algorithms for scheduling in the no-wait flowshop**. International Journal of Production Economics, v.32, p.285-290. 1993.

GAREY, M. R; JOHNSON, D. S. **Computers and intractability: a guide of NP-completeness**. New York: W. H. Freeman, 1979.

GIGANTE, R. L. **Heurística Construtiva para a Programação de Operações Flowshop Permutacional**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

HO, J. C; CHANG, Y. L. **A New Heuristic for the n-job, m-machine flow shop problem**. European Journal of Operational Research, Amsterdam, v.52, n.2, p.194-202, May, 1991.

HO, J. C. **Flowshop Sequencing With Mean Flow time Objective**. European Journal of Operational Research. Amsterdam. Vol. 81, p. 571-578. 1995.

JOHNSON, S. M. **Optimal two-and-three-stage production schedules with setup times included**. Naval Research Logistics Quarterly. Washington, v.1, n.1, p.61-68, Mar, 1954.

KALCZYNSKY, P. J; KAMBUROWSKI, J. **A heuristic for minimizing makespan in no-idle permutacion flow shops.** Computers & Industrial Engineering, v.49, n.1, p.146-154. 2005.

KALCZYNSKI, P.J; KAMBUROWSKI, J. **On the NEH Heuristic for minimizing the makespan in permutacion flow shops.** Omega: The Internacional Journal of Management Science, Oxford, v.35, n.1, p.53-60, Feb, 2007.

KANG, B.; MARKLAND, R. E. **Evolution of Scheduling techniques for solving flowshop problems with no intermediate storage.** Journal of Operations Management, v.7, n.3, p.1-24. 1988.

KAZAMA, E. K. **Heurísticas Construtivas Para Programação de Operações em Sistemas de Produção Flowshop Permutacional:** Classificação de suas Fases Construtivas. TCC. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. 2011.

KING, R.; SPACHIS, A. S. **Heuristics for Flow Shop Scheduling.** International Journal of Production Research, v.18, p.343-357. 1980.

KOULAMAS, C. **A New Constructive Heuristic for the Flowshop Scheduling Problem.** European Journal of Operational Research, Amsterdam, v.105, n.1, p.66-71, Feb, 1998.

LIAO, C. J. **Minimizing the number of machine idle intervals with minimum makespan in a flowshop.** Journal of the Operational Research Society, v.44, n.8, p.817-824. 1993.

LUSTOSA, L. *et al.* **Planejamento e Controle da Produção.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2008. 4<sup>a</sup> ed.

MACCARTHY, B. L; LIU, J. Y. **Adressing a Gap in Scheduling Research – A Review of Optimization and Heuristic Methods in Production Schduling.** Internacional Journal of Production Research. London. 1993.

MOCCELLIN, J.V; NAGANO, M. S. **Flow Shop com Máquinas Paralelas Genéricas**. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, n.35, Natal-RN. Anais. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional, 1 CD-ROM. 2003.

NAGANO, M. S.; MOCCELLIN, J. V. **Reducing Mean Flow Time in Permutacion Flowshop**. Journal of the Operational Research Society, Birmingham, advance online publication. 2007.

MORAIS, M. F. **Métodos Heurísticos Construtivos para Redução do Estoque em Processo em Ambientes de Produção Flow Shop Híbridos com Tempo de Setup Dependentes da Sequência**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. 2008.

MORTON, T. E; PENTICO, D.W. **Heuristic Scheduling Systems**. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1993.

NAGANO, M.S.; MOCCELLIN, J.V. **A High Quality Solution Constructiv For Flow Shop Sequencing**. Journal of the Operacional Research Society, London, v.53, n.12, p.1374-1379, Dec, 2002.

NARAIN, L.; BAGGA, P. C. **Flow shop/ no-idle scheduling to minimize total elapsed time**. Journal of Global Optimization, v.33, n.3, p.349-367. 2005.

NARAIN, L; BAGGA, P. C. **Minimizing total elapsed time subject to zero total idle time of machines in  $n \times 3$  flowshop problem**. Indian Journal of Pure & Applied Mathematics, v.34, n.2, p.219-228. 2003.

NAWAZ, M.; ENSCORE Jr, E.E; HAM, I. **A Heuristic Algorithm for the m-Machine, n-Job Flow-Shop Sequencing Problem**. Omega: The Internacional Journal os Management Science, Oxford, v.11, n.1, p.91-95. 1983.

PALMER, D.S. **Sequencing Jobs Throught a Multi-Stage Process in the Minimum Total Time** – A quick Method of Obtaining a Near Optimum. Operational Research Quaterly, London, v.16, n.1, p.101-107, Mar, 1965.

PAPADIMITRIOU, C. H.; KANELLAKIS, P. C. **Flowshop Scheduling with limited temporary storage**. Journal of the Assocation for Computing Machinery. V.27, n.3, p..533-549. 1980.

PEKNY, J. F; MILLER, D.L. **Exact solution of the no-wait flowshop scheduling problem with a comparison to heuristic methods**. Computers & Chemical Engineering, v.15, n.11, p.741-748. 1991.

PINEDO, M. **Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems**. New Jersey. Prentice-Hall. 1995.

RAJENDRAN, C. **A no-wait Flowshop Scheduling Heuristic to Minimize Makespan**. Journal Operational Research Society, v.45, n.4, p. 472-478. 1994.

RAJENDRAN, C; CHAUDHURI D. **Heuristic Algorithms for Continuous Flow-Shop Problem**. Naval Research Logistics, v.37, p.695-705. 1990.

RAJENDRAN C. **Heuristic Algorithm for Scheduling in a Flowshop to Minimise Total Lowtime**. International Journal Production Economics. Amsterdam, vol. 29, p.65-73. 1993.

SAADANI, N. E. H; BAPTISTE, P. **Relaxation of the no-idle constraint in the flow-shop problem**. In Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Production Management, IEPM'97, p.305-309, Lyon, France. 2002.

SAADANI, N. E. H.; GUINET, A.; MOALLA, M. **Three stage no-idle flow-shops**. Computers & Industrial Engineering, v.44, n.3, p.425-434. 2003.

SAADANI, N. E. H.; GUINET, A.; MOALLA, M. **A travelling salesman approach to solve the F/no-idle/Cmax problem.** European Journal of Operational Research, v.161, n.1, p.11-20. 2005.

SCARDOELLI, L. Y. **Novos Métodos Heurísticos Para a Programação de Operações No-Wait Flow Shop com Critério de Minimização do Tempo Total de Fluxo.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos. 2006.

SLACK, N. *et al.* **Administração da produção:** Edição Compacta. São Paulo: Atlas, 1999. 1ª ed.

SRISKANDARAJAH, C. **Performance of scheduling algorithms for no-wait flowshops with parallel machine.** European Journal of Operational Research. V.70, p.365-378. 1993.

VACHAJITPAN, P. **Job sequencing with continuous machine operation.** Computers & Industrial Engineering, v.6, n.3, p.255-259. 1982.

WOOLAN, C.R. (1986). **Flow shop with no idle machine time allowed.** Computers & Industrial Engineering, v.10, n.1, p.69-76. 1986.

## APENDICE 1 – Comparação entre as heurísticas LPT e LPT + NEH

Tabela 1 – Comparação entre os métodos LPT e LPT + NEH, com variação de  $\alpha = 0$  à  $\alpha = 0,1$

	N	% DE SUCESSO		DESVIO RELATIVO MÉDIO		TEMPO MÉDIO (ms)	
		LPT	LPT + NEH	LPT	LPT + NEH	LPT	LPT + NEH
$\alpha = 0,0$	10	0	<u>100</u>	23,98	<u>0,00</u>	<u>34,65</u>	44,88
	20	0	<u>100</u>	27,76	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	30	0	<u>100</u>	29,76	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	40	0	<u>100</u>	31,52	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	50	0	<u>100</u>	32,52	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	60	0	<u>100</u>	33,51	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,85</u>
	70	0	<u>100</u>	34,36	<u>0,00</u>	32,89	<u>32,85</u>
	80	0	<u>100</u>	35,21	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	90	0	<u>100</u>	36,14	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	100	0	<u>100</u>	36,52	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,13
	110	0	<u>100</u>	37,08	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,91
	120	0	<u>100</u>	37,66	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	34,30
	130	0	<u>100</u>	38,10	<u>0,00</u>	<u>33,40</u>	34,38
	140	0	<u>100</u>	38,42	<u>0,00</u>	<u>33,17</u>	34,53
	150	0	<u>100</u>	39,00	<u>0,00</u>	<u>33,91</u>	34,61
	160	0	<u>100</u>	39,07	<u>0,00</u>	33,87	<u>33,48</u>
	170	0	<u>100</u>	39,43	<u>0,00</u>	<u>34,22</u>	36,92
	180	0	<u>100</u>	40,14	<u>0,00</u>	<u>34,06</u>	42,54
	190	0	<u>100</u>	40,31	<u>0,00</u>	<u>34,57</u>	48,83
	200	0	<u>100</u>	40,45	<u>0,00</u>	<u>35,39</u>	55,43
$\alpha = 0,1$	10	0	<u>100</u>	23,76	<u>0,00</u>	<u>42,07</u>	50,35
	20	0	<u>100</u>	27,63	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	30	0	<u>100</u>	29,76	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	40	0	<u>100</u>	31,51	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	50	0	<u>100</u>	32,46	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	60	0	<u>100</u>	33,54	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	70	0	<u>100</u>	34,40	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	80	0	<u>100</u>	35,28	<u>0,00</u>	<u>32,85</u>	32,93

90	0	<u>100</u>	36,16	<u>0,00</u>	32,93	32,93
100	0	<u>100</u>	36,56	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,40
110	0	<u>100</u>	37,09	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,95
120	0	<u>100</u>	37,70	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	34,57
130	0	<u>100</u>	38,16	<u>0,00</u>	<u>32,97</u>	34,69
140	0	<u>100</u>	38,51	<u>0,00</u>	<u>33,09</u>	34,02
150	0	<u>100</u>	39,09	<u>0,00</u>	<u>33,40</u>	34,26
160	0	<u>100</u>	39,01	<u>0,00</u>	34,14	<u>33,44</u>
170	0	<u>100</u>	39,51	<u>0,00</u>	<u>33,91</u>	36,99
180	0	<u>100</u>	40,23	<u>0,00</u>	<u>34,38</u>	41,92
190	0	<u>100</u>	40,32	<u>0,00</u>	<u>34,61</u>	47,62
200	0	<u>100</u>	40,45	<u>0,00</u>	<u>35,70</u>	53,79

Fonte: Autoria própria, 2016.

Tabela 2 – Comparação entre os métodos LPT e LPT + NEH, com variação de  $\alpha = 0,2$  à  $\alpha = 0,3$

	N	% DE SUCESSO		DESVIO RELATIVO MÉDIO		TEMPO MÉDIO (ms)	
		LPT	LPT + NEH	LPT	LPT + NEH	LPT	LPT + NEH
$\alpha = 0,2$	10	0	<u>100</u>	23,46	<u>0,00</u>	39,30	<u>34,65</u>
	20	0	<u>100</u>	27,42	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	30	0	<u>100</u>	29,53	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	40	0	<u>100</u>	31,43	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	50	0	<u>100</u>	32,38	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	60	0	<u>100</u>	33,49	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	70	0	<u>100</u>	34,32	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	80	0	<u>100</u>	35,24	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	90	0	<u>100</u>	36,10	<u>0,00</u>	32,97	32,97
	100	0	<u>100</u>	36,51	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,40
	110	0	<u>100</u>	37,07	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	34,18
	120	0	<u>100</u>	37,69	<u>0,00</u>	<u>32,97</u>	34,49
	130	0	<u>100</u>	38,13	<u>0,00</u>	<u>32,85</u>	34,69
	140	0	<u>100</u>	38,51	<u>0,00</u>	<u>32,97</u>	34,88
	150	0	<u>100</u>	38,97	<u>0,00</u>	<u>33,32</u>	34,26
	160	0	<u>100</u>	38,97	<u>0,00</u>	34,14	<u>34,06</u>
	170	0	<u>100</u>	39,49	<u>0,00</u>	<u>34,06</u>	36,41
	180	0	<u>100</u>	40,16	<u>0,00</u>	<u>35,00</u>	41,92
	190	0	<u>100</u>	40,34	<u>0,00</u>	<u>34,22</u>	47,27
	200	0	<u>100</u>	40,43	<u>0,00</u>	<u>35,20</u>	59,22

$\alpha = 0,3$	10	0	<u>100</u>	23,12	<u>0,00</u>	<u>38,91</u>	42,39
	20	0	<u>100</u>	27,26	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	30	0	<u>100</u>	29,44	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,85</u>
	40	0	<u>100</u>	31,30	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	50	0	<u>100</u>	32,32	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	60	0	<u>100</u>	33,44	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	70	0	<u>100</u>	34,29	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	80	0	<u>100</u>	35,19	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	90	0	<u>100</u>	36,04	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	100	0	<u>100</u>	36,44	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,48
	110	0	<u>100</u>	36,97	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	34,26
	120	0	<u>100</u>	37,68	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	34,06
	130	0	<u>100</u>	38,09	<u>0,00</u>	<u>33,09</u>	34,45
	140	0	<u>100</u>	38,42	<u>0,00</u>	<u>33,75</u>	33,91
	150	0	<u>100</u>	38,95	<u>0,00</u>	<u>33,79</u>	34,11
	160	0	<u>100</u>	38,99	<u>0,00</u>	33,91	<u>33,48</u>
	170	0	<u>100</u>	39,42	<u>0,00</u>	<u>34,30</u>	36,80
	180	0	<u>100</u>	40,12	<u>0,00</u>	<u>34,65</u>	42,11
190	0	<u>100</u>	40,30	<u>0,00</u>	<u>34,81</u>	48,32	
200	0	<u>100</u>	40,34	<u>0,00</u>	<u>34,34</u>	54,41	

Fonte: Autoria própria, 2016

Tabela 3 – Comparação entre os métodos LPT e LPT + NEH, com variação de  $\alpha = 0,4$  à  $\alpha = 0,5$

	N	% DE SUCESSO		DESVIO RELATIVO MÉDIO		TEMPO MÉDIO (ms)	
		LPT	LPT + NEH	LPT	LPT + NEH	LPT	LPT + NEH
$\alpha = 0,4$	10	0	<u>100</u>	22,74	<u>0,00</u>	<u>39,38</u>	54,53
	20	0	<u>100</u>	27,00	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	30	0	<u>100</u>	29,26	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	40	0	<u>100</u>	31,18	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	50	0	<u>100</u>	32,16	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	60	0	<u>100</u>	33,34	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	70	0	<u>100</u>	34,26	<u>0,00</u>	32,89	<u>32,85</u>
	80	0	<u>100</u>	35,09	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	90	0	<u>100</u>	36,03	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	100	0	<u>100</u>	36,40	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,75
	110	0	<u>100</u>	36,90	<u>0,00</u>	<u>32,85</u>	33,95
	120	0	<u>100</u>	37,56	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	34,22
	130	0	<u>100</u>	37,95	<u>0,00</u>	<u>33,01</u>	34,14
	140	0	<u>100</u>	38,37	<u>0,00</u>	<u>33,32</u>	34,57

	150	0	<u>100</u>	38,81	<u>0,00</u>	<u>33,13</u>	33,98
	160	0	<u>100</u>	38,94	<u>0,00</u>	<u>33,52</u>	33,79
	170	0	<u>100</u>	39,32	<u>0,00</u>	<u>34,10</u>	36,56
	180	0	<u>100</u>	40,07	<u>0,00</u>	<u>33,99</u>	42,19
	190	0	<u>100</u>	40,28	<u>0,00</u>	<u>34,81</u>	47,03
	200	0	<u>100</u>	40,31	<u>0,00</u>	<u>34,73</u>	53,17
$\alpha = 0,5$	10	0	<u>100</u>	22,25	<u>0,00</u>	<u>39,18</u>	46,72
	20	0	<u>100</u>	26,64	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	30	0	<u>100</u>	28,99	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	40	0	<u>100</u>	30,88	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	50	0	<u>100</u>	32,05	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	60	0	<u>100</u>	33,19	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	70	0	<u>100</u>	34,08	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	80	0	<u>100</u>	34,98	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,03
	90	0	<u>100</u>	35,84	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	100	0	<u>100</u>	36,24	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,40
	110	0	<u>100</u>	36,76	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	34,30
	120	0	<u>100</u>	37,53	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,83
	130	0	<u>100</u>	37,91	<u>0,00</u>	<u>33,09</u>	35,67
	140	0	<u>100</u>	38,33	<u>0,00</u>	<u>33,28</u>	34,41
	150	0	<u>100</u>	38,71	<u>0,00</u>	<u>33,28</u>	34,61
	160	0	<u>100</u>	38,96	<u>0,00</u>	<u>33,56</u>	33,71
	170	0	<u>100</u>	39,33	<u>0,00</u>	<u>33,75</u>	37,31
	180	0	<u>100</u>	40,00	<u>0,00</u>	<u>33,59</u>	42,27
190	0	<u>100</u>	40,07	<u>0,00</u>	<u>34,77</u>	47,07	
200	0	<u>100</u>	40,20	<u>0,00</u>	<u>34,89</u>	53,32	

Fonte: Autoria própria, 2016.

Tabela 4 – Comparação entre os métodos LPT e LPT + NEH, com variação de  $\alpha = 0,6$  à  $\alpha = 0,7$

	N	% DE SUCESSO		DESVIO RELATIVO MÉDIO		TEMPO MÉDIO (ms)	
		LPT	LPT + NEH	LPT	LPT + NEH	LPT	LPT + NEH
$\alpha = 0,6$	10	0	<u>100</u>	21,67	<u>0,00</u>	<u>40,94</u>	41,17
	20	0	<u>100</u>	26,25	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	30	0	<u>100</u>	28,73	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	40	0	<u>100</u>	30,72	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	50	0	<u>100</u>	31,86	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	60	0	<u>100</u>	33,04	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	70	0	<u>100</u>	34,00	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,89
	80	0	<u>100</u>	34,96	<u>0,00</u>	32,93	32,93

	90	0	<u>100</u>	35,77	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	100	0	<u>100</u>	36,20	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,36
	110	0	<u>100</u>	36,63	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,91
	120	0	<u>100</u>	37,38	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	34,34
	130	0	<u>100</u>	37,84	<u>0,00</u>	<u>32,97</u>	34,22
	140	0	<u>100</u>	38,24	<u>0,00</u>	<u>33,17</u>	34,89
	150	0	<u>100</u>	38,71	<u>0,00</u>	<u>33,75</u>	34,57
	160	0	<u>100</u>	38,89	<u>0,00</u>	<u>33,71</u>	33,99
	170	0	<u>100</u>	39,34	<u>0,00</u>	<u>34,26</u>	36,64
	180	0	<u>100</u>	40,01	<u>0,00</u>	<u>34,73</u>	41,80
	190	0	<u>100</u>	40,06	<u>0,00</u>	<u>34,81</u>	47,89
	200	0	<u>100</u>	40,21	<u>0,00</u>	<u>35,43</u>	53,13
$\alpha = 0,7$	10	0	<u>100</u>	20,85	<u>0,00</u>	<u>34,77</u>	45,98
	20	0	<u>100</u>	25,63	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
	30	0	<u>100</u>	28,29	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	40	0	<u>100</u>	30,39	<u>0,00</u>	32,97	<u>32,89</u>
	50	0	<u>100</u>	31,44	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	60	0	<u>100</u>	32,82	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	70	0	<u>100</u>	33,75	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	80	0	<u>100</u>	34,70	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	90	0	<u>100</u>	35,60	<u>0,00</u>	<u>32,85</u>	32,97
	100	0	<u>100</u>	36,02	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,59
	110	0	<u>100</u>	36,59	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	34,26
	120	0	<u>100</u>	37,15	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	34,49
	130	0	<u>100</u>	37,59	<u>0,00</u>	<u>33,13</u>	34,73
	140	0	<u>100</u>	38,03	<u>0,00</u>	<u>33,36</u>	34,34
	150	0	<u>100</u>	38,61	<u>0,00</u>	<u>33,48</u>	34,57
	160	0	<u>100</u>	38,80	<u>0,00</u>	33,99	<u>33,52</u>
	170	0	<u>100</u>	39,13	<u>0,00</u>	44,96	<u>37,46</u>
	180	0	<u>100</u>	39,92	<u>0,00</u>	<u>34,06</u>	41,99
190	0	<u>100</u>	39,95	<u>0,00</u>	<u>34,38</u>	48,09	
200	0	<u>100</u>	40,15	<u>0,00</u>	<u>34,49</u>	53,20	

Fonte: Autoria própria, 2016.

Tabela 5 – Comparação entre os métodos LPT e LPT + NEH, com variação de  $\alpha = 0,8$  à  $\alpha = 0,9$

	N	% DE SUCESSO		DESVIO RELATIVO MÉDIO		TEMPO MÉDIO (ms)	
		LPT	LPT + NEH	LPT	LPT + NEH	LPT	LPT + NEH
$\alpha = 0,8$	10	0	<u>100</u>	19,83	<u>0,00</u>	<u>39,22</u>	42,38
	20	0	<u>100</u>	24,76	<u>0,00</u>	<u>32,85</u>	32,93

	30	0	<u>100</u>	27,46	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	40	0	<u>100</u>	29,86	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	50	0	<u>100</u>	30,92	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	60	0	<u>100</u>	32,38	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	70	0	<u>100</u>	33,27	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	80	0	<u>100</u>	34,24	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	90	0	<u>100</u>	35,15	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,01
	100	0	<u>100</u>	35,73	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,56
	110	0	<u>100</u>	36,19	<u>0,00</u>	<u>32,97</u>	34,26
	120	0	<u>100</u>	36,85	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,91
	130	0	<u>100</u>	37,31	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	34,34
	140	0	<u>100</u>	37,76	<u>0,00</u>	<u>33,28</u>	34,57
	150	0	<u>100</u>	38,45	<u>0,00</u>	<u>33,44</u>	33,75
	160	0	<u>100</u>	38,58	<u>0,00</u>	34,06	<u>33,55</u>
	170	0	<u>100</u>	38,82	<u>0,00</u>	<u>33,83</u>	36,68
	180	0	<u>100</u>	39,48	<u>0,00</u>	<u>34,30</u>	42,35
	190	0	<u>100</u>	39,62	<u>0,00</u>	<u>35,12</u>	47,70
	200	0	<u>100</u>	39,98	<u>0,00</u>	<u>34,65</u>	53,09
$\alpha = 0,9$	10	0	<u>100</u>	18,44	<u>0,00</u>	43,48	<u>39,10</u>
	20	0	<u>100</u>	23,42	<u>0,00</u>	<u>32,85</u>	32,93
	30	0	<u>100</u>	26,03	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	40	0	<u>100</u>	28,62	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	50	0	<u>100</u>	29,90	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	60	0	<u>100</u>	31,37	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	70	0	<u>100</u>	32,35	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	42,46
	80	0	<u>100</u>	33,34	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	90	0	<u>100</u>	34,35	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
	100	0	<u>100</u>	34,84	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	110	0	<u>100</u>	35,51	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	120	0	<u>100</u>	36,22	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	130	0	<u>100</u>	36,80	<u>0,00</u>	32,97	<u>32,89</u>
	140	0	<u>100</u>	37,13	<u>0,00</u>	33,32	<u>33,01</u>
	150	0	<u>100</u>	37,88	<u>0,00</u>	<u>33,60</u>	39,22
	160	0	<u>100</u>	38,05	<u>0,00</u>	33,75	<u>33,21</u>
	170	0	<u>100</u>	38,36	<u>0,00</u>	<u>33,91</u>	36,48
180	0	<u>100</u>	39,03	<u>0,00</u>	<u>33,91</u>	41,45	
190	0	<u>100</u>	39,18	<u>0,00</u>	<u>34,30</u>	47,11	
200	0	<u>100</u>	39,44	<u>0,00</u>	<u>34,73</u>	53,13	

Fonte: Autoria própria, 2016.

Tabela 6 – Comparação entre os métodos LPT e LPT + NEH, com variação de  $\alpha = 1,0$ 

	N	% DE SUCESSO		DESVIO RELATIVO MÉDIO		TEMPO MÉDIO (ms)	
		LPT	LPT + NEH	LPT	LPT + NEH	LPT	LPT + NEH
$\alpha = 1,0$	10	0	<u>100</u>	16,21	<u>0,00</u>	<u>39,84</u>	41,88
	20	0	<u>100</u>	20,05	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	30	0	<u>100</u>	21,88	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
	40	0	<u>100</u>	23,55	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	50	0	<u>100</u>	24,65	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	60	0	<u>100</u>	25,59	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	70	0	<u>100</u>	26,74	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	80	0	<u>100</u>	27,15	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	90	0	<u>100</u>	27,92	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	100	0	<u>100</u>	28,28	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,75
	110	0	<u>100</u>	28,80	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	34,02
	120	0	<u>100</u>	29,31	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	34,42
	130	0	<u>100</u>	29,68	<u>0,00</u>	<u>33,17</u>	35,16
	140	0	<u>100</u>	30,10	<u>0,00</u>	<u>33,40</u>	35,24
	150	0	<u>100</u>	30,48	<u>0,00</u>	<u>33,99</u>	34,65
	160	0	<u>100</u>	30,72	<u>0,00</u>	34,18	<u>33,87</u>
	170	0	<u>100</u>	31,00	<u>0,00</u>	<u>34,30</u>	36,80
	180	0	<u>100</u>	31,47	<u>0,00</u>	<u>34,30</u>	42,07
	190	0	<u>100</u>	31,72	<u>0,00</u>	<u>34,92</u>	47,46
	200	0	<u>100</u>	31,84	<u>0,00</u>	<u>34,96</u>	52,93

Fonte: Autoria própria, 2016.

## APENDICE 2 – Comparação entre as heurísticas SPT e SPT + NEH

Tabela 1 – Comparação entre os métodos SPT e SPT + NEH, com variação de  $\alpha = 0$  à  $\alpha = 0,1$

	N	% DE SUCESSO		DESVIO RELATIVO MÉDIO		TEMPO MÉDIO (ms)	
		SPT	SPT + NEH	SPT	SPT + NEH	SPT	SPT + NEH
$\alpha = 0,0$	10	1,5	<u>99,25</u>	6,73	<u>0,01</u>	42,27	<u>41,95</u>
	20	0	<u>100</u>	12,00	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	30	0	<u>100</u>	15,90	<u>0,00</u>	<u>32,85</u>	32,93
	40	0	<u>100</u>	18,79	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	50	0	<u>100</u>	20,85	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	60	0	<u>100</u>	22,15	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	70	0	<u>100</u>	23,76	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	80	0	<u>100</u>	24,54	<u>0,00</u>	<u>32,85</u>	32,93
	90	0	<u>100</u>	25,76	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	100	0	<u>100</u>	26,34	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	110	0	<u>100</u>	27,25	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	120	0	<u>100</u>	28,05	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	130	0	<u>100</u>	28,37	<u>0,00</u>	33,01	<u>32,93</u>
	140	0	<u>100</u>	29,14	<u>0,00</u>	33,48	<u>32,93</u>
	150	0	<u>100</u>	29,65	<u>0,00</u>	33,91	<u>32,93</u>
	160	0	<u>100</u>	30,23	<u>0,00</u>	34,06	<u>32,93</u>
	170	0	<u>100</u>	30,83	<u>0,00</u>	<u>33,79</u>	35,08
	180	0	<u>100</u>	31,14	<u>0,00</u>	<u>34,73</u>	39,88
	190	0	<u>100</u>	31,62	<u>0,00</u>	<u>34,42</u>	45,43
	200	0	<u>100</u>	31,80	<u>0,00</u>	<u>35,16</u>	51,48
$\alpha = 0,1$	10	1,5	<u>98,75</u>	6,78	<u>0,01</u>	<u>41,72</u>	42,62
	20	0	<u>100</u>	12,07	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	30	0	<u>100</u>	15,93	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	40	0	<u>100</u>	18,82	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	50	0	<u>100</u>	20,83	<u>0,00</u>	<u>32,85</u>	32,89
	60	0	<u>100</u>	22,31	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	70	0	<u>100</u>	23,74	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	80	0	<u>100</u>	24,62	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	90	0	<u>100</u>	25,81	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	100	0	<u>100</u>	26,37	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	110	0	<u>100</u>	27,33	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	120	0	<u>100</u>	28,09	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	130	0	<u>100</u>	28,41	<u>0,00</u>	33,13	<u>32,93</u>
	140	0	<u>100</u>	29,14	<u>0,00</u>	33,24	<u>32,89</u>

150	0	<u>100</u>	29,66	<u>0,00</u>	33,60	<u>32,93</u>
160	0	<u>100</u>	30,29	<u>0,00</u>	33,79	<u>32,93</u>
170	0	<u>100</u>	30,87	<u>0,00</u>	<u>33,87</u>	35,20
180	0	<u>100</u>	31,23	<u>0,00</u>	<u>34,53</u>	40,04
190	0	<u>100</u>	31,62	<u>0,00</u>	<u>34,41</u>	45,74
200	0	<u>100</u>	31,85	<u>0,00</u>	<u>34,93</u>	51,88

Fonte: Autoria própria, 2016.

Tabela 2 – Comparação entre os métodos SPT e SPT + NEH, com variação de  $\alpha = 0,2$  à  $\alpha = 0,3$

	N	% DE SUCESSO		DESVIO RELATIVO MÉDIO		TEMPO MÉDIO (ms)	
		SPT	SPT + NEH	SPT	SPT + NEH	SPT	SPT + NEH
$\alpha = 0,2$	10	2	<u>98,25</u>	6,79	<u>0,01</u>	43,52	<u>38,44</u>
	20	0	<u>100</u>	12,10	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	30	0	<u>100</u>	15,91	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	40	0	<u>100</u>	18,87	<u>0,00</u>	<u>32,85</u>	32,97
	50	0	<u>100</u>	20,81	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	34,14
	60	0	<u>100</u>	22,32	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	70	0	<u>100</u>	23,73	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	80	0	<u>100</u>	24,63	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	90	0	<u>100</u>	25,80	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	100	0	<u>100</u>	26,38	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	110	0	<u>100</u>	27,31	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	120	0	<u>100</u>	28,10	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	130	0	<u>100</u>	28,38	<u>0,00</u>	33,17	<u>32,93</u>
	140	0	<u>100</u>	29,13	<u>0,00</u>	33,40	<u>32,97</u>
	150	0	<u>100</u>	29,69	<u>0,00</u>	33,79	<u>32,93</u>
	160	0	<u>100</u>	30,28	<u>0,00</u>	33,83	<u>32,93</u>
	170	0	<u>100</u>	30,85	<u>0,00</u>	<u>33,79</u>	35,12
	180	0	<u>100</u>	31,20	<u>0,00</u>	<u>33,75</u>	40,00
	190	0	<u>100</u>	31,63	<u>0,00</u>	<u>34,92</u>	45,55
	200	0	<u>100</u>	31,82	<u>0,00</u>	<u>34,92</u>	51,64
$\alpha = 0,3$	10	2,5	<u>97,75</u>	6,84	<u>0,02</u>	47,42	<u>39,18</u>
	20	0	<u>100</u>	12,11	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	30	0	<u>100</u>	15,87	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	40	0	<u>100</u>	18,79	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	50	0	<u>100</u>	20,75	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	60	0	<u>100</u>	22,24	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	70	0	<u>100</u>	23,67	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	80	0	<u>100</u>	24,53	<u>0,00</u>	32,89	32,89

90	0	<u>100</u>	25,77	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
100	0	<u>100</u>	26,37	<u>0,00</u>	32,93	32,93
110	0	<u>100</u>	27,27	<u>0,00</u>	32,93	32,93
120	0	<u>100</u>	28,03	<u>0,00</u>	33,01	<u>32,89</u>
130	0	<u>100</u>	28,44	<u>0,00</u>	32,93	32,93
140	0	<u>100</u>	29,18	<u>0,00</u>	33,36	<u>32,89</u>
150	0	<u>100</u>	29,64	<u>0,00</u>	33,56	<u>32,93</u>
160	0	<u>100</u>	30,31	<u>0,00</u>	33,83	<u>32,93</u>
170	0	<u>100</u>	30,81	<u>0,00</u>	34,49	<u>32,93</u>
180	0	<u>100</u>	31,18	<u>0,00</u>	<u>34,57</u>	34,73
190	0	<u>100</u>	31,59	<u>0,00</u>	<u>34,30</u>	39,38
200	0	<u>100</u>	31,83	<u>0,00</u>	<u>34,30</u>	44,38

Fonte: Autoria própria, 2016

Tabela 3 – Comparação entre os métodos SPT e SPT + NEH, com variação de  $\alpha = 0,4$  à  $\alpha = 0,5$

	N	% DE SUCESSO		DESVIO RELATIVO MÉDIO		TEMPO MÉDIO (ms)	
		SPT	SPT + NEH	SPT	SPT + NEH	SPT	SPT + NEH
$\alpha = 0,4$	10	2	<u>98,25</u>	6,86	<u>0,02</u>	<u>34,92</u>	39,89
	20	0	<u>100</u>	12,03	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	30	0	<u>100</u>	15,74	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	40	0	<u>100</u>	18,76	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	50	0	<u>100</u>	20,63	<u>0,00</u>	39,45	<u>32,93</u>
	60	0	<u>100</u>	22,17	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	70	0	<u>100</u>	23,70	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	80	0	<u>100</u>	24,44	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	90	0	<u>100</u>	25,71	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
	100	0	<u>100</u>	26,38	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	110	0	<u>100</u>	27,21	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	120	0	<u>100</u>	28,04	<u>0,00</u>	33,05	<u>32,93</u>
	130	0	<u>100</u>	28,41	<u>0,00</u>	33,13	<u>33,01</u>
	140	0	<u>100</u>	29,12	<u>0,00</u>	33,05	<u>32,93</u>
	150	0	<u>100</u>	29,64	<u>0,00</u>	33,56	<u>32,93</u>
	160	0	<u>100</u>	30,25	<u>0,00</u>	33,91	<u>32,93</u>
	170	0	<u>100</u>	30,73	<u>0,00</u>	34,41	<u>32,97</u>
	180	0	<u>100</u>	31,20	<u>0,00</u>	<u>33,99</u>	34,81
	190	0	<u>100</u>	31,58	<u>0,00</u>	<u>34,14</u>	39,34
	200	0	<u>100</u>	31,81	<u>0,00</u>	<u>34,92</u>	44,38
$\alpha = 0,5$	10	3,25	<u>97</u>	6,91	<u>0,03</u>	43,36	<u>38,63</u>
	20	0	<u>100</u>	11,95	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93

30	0	<u>100</u>	15,62	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
40	0	<u>100</u>	18,59	<u>0,00</u>	32,93	32,93
50	0	<u>100</u>	20,49	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
60	0	<u>100</u>	22,06	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
70	0	<u>100</u>	23,54	<u>0,00</u>	<u>32,86</u>	32,93
80	0	<u>100</u>	24,43	<u>0,00</u>	<u>32,85</u>	32,97
90	0	<u>100</u>	25,63	<u>0,00</u>	32,93	32,93
100	0	<u>100</u>	26,32	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
110	0	<u>100</u>	27,17	<u>0,00</u>	32,89	<u>32,86</u>
120	0	<u>100</u>	27,94	<u>0,00</u>	32,93	32,93
130	0	<u>100</u>	28,27	<u>0,00</u>	33,05	<u>32,97</u>
140	0	<u>100</u>	29,13	<u>0,00</u>	33,16	<u>32,93</u>
150	0	<u>100</u>	29,50	<u>0,00</u>	33,71	<u>32,93</u>
160	0	<u>100</u>	30,24	<u>0,00</u>	33,44	<u>32,93</u>
170	0	<u>100</u>	30,69	<u>0,00</u>	36,21	<u>32,97</u>
180	0	<u>100</u>	31,04	<u>0,00</u>	<u>33,75</u>	34,80
190	0	<u>100</u>	31,54	<u>0,00</u>	<u>34,38</u>	39,42
200	0	<u>100</u>	31,84	<u>0,00</u>	<u>34,65</u>	44,42

Fonte: Autoria própria, 2016

Tabela 4 – Comparação entre os métodos SPT e SPT + NEH, com variação de  $\alpha = 0,6$  à  $\alpha = 0,7$

	N	% DE SUCESSO		DESVIO RELATIVO MÉDIO		TEMPO MÉDIO (ms)	
		SPT	SPT + NEH	SPT	SPT + NEH	SPT	SPT + NEH
$\alpha = 0,6$	10	3,25	<u>96,75</u>	7,01	<u>0,05</u>	46,45	<u>43,32</u>
	20	0	<u>100</u>	11,77	<u>0,00</u>	32,89	<u>32,85</u>
	30	0	<u>100</u>	15,41	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	40	0	<u>100</u>	18,28	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	50	0	<u>100</u>	20,30	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	60	0	<u>100</u>	21,81	<u>0,00</u>	<u>32,81</u>	32,93
	70	0	<u>100</u>	23,40	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	80	0	<u>100</u>	24,31	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	90	0	<u>100</u>	25,45	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	100	0	<u>100</u>	26,12	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	110	0	<u>100</u>	27,02	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	120	0	<u>100</u>	27,74	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
	130	0	<u>100</u>	28,17	<u>0,00</u>	33,16	<u>32,93</u>
	140	0	<u>100</u>	28,95	<u>0,00</u>	33,29	<u>32,97</u>
	150	0	<u>100</u>	29,43	<u>0,00</u>	33,59	<u>32,93</u>
	160	0	<u>100</u>	30,07	<u>0,00</u>	33,56	<u>32,93</u>

	170	0	<u>100</u>	30,62	<u>0,00</u>	33,99	<u>32,97</u>
	180	0	<u>100</u>	31,03	<u>0,00</u>	<u>34,34</u>	34,73
	190	0	<u>100</u>	31,44	<u>0,00</u>	<u>34,30</u>	39,30
	200	0	<u>100</u>	31,69	<u>0,00</u>	<u>34,69</u>	44,38
$\alpha = 0,7$	10	3,75	<u>96,25</u>	7,34	<u>0,05</u>	40,63	<u>38,87</u>
	20	0	<u>100</u>	11,82	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	30	0	<u>100</u>	15,24	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
	40	0	<u>100</u>	17,92	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	50	0	<u>100</u>	20,08	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	60	0	<u>100</u>	21,49	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
	70	0	<u>100</u>	23,17	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	80	0	<u>100</u>	24,00	<u>0,00</u>	<u>32,81</u>	32,97
	90	0	<u>100</u>	25,13	<u>0,00</u>	33,01	32,93
	100	0	<u>100</u>	25,81	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	110	0	<u>100</u>	26,76	<u>0,00</u>	33,09	<u>32,93</u>
	120	0	<u>100</u>	27,51	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	130	0	<u>100</u>	27,96	<u>0,00</u>	33,28	<u>32,93</u>
	140	0	<u>100</u>	28,79	<u>0,00</u>	33,32	<u>32,93</u>
	150	0	<u>100</u>	29,23	<u>0,00</u>	33,67	<u>32,93</u>
	160	0	<u>100</u>	29,94	<u>0,00</u>	33,56	<u>32,93</u>
	170	0	<u>100</u>	30,42	<u>0,00</u>	34,65	<u>32,93</u>
180	0	<u>100</u>	30,80	<u>0,00</u>	34,34	34,84	
190	0	<u>100</u>	31,29	<u>0,00</u>	<u>33,75</u>	39,34	
200	0	<u>100</u>	31,51	<u>0,00</u>	<u>34,41</u>	44,49	

Fonte: Autoria própria, 2016

Tabela 5 – Comparação entre os métodos SPT e SPT + NEH, com variação de  $\alpha = 0,8$  à  $\alpha = 0,9$

	N	% DE SUCESSO		DESVIO RELATIVO MÉDIO		TEMPO MÉDIO (ms)	
		SPT	SPT + NEH	SPT	SPT + NEH	SPT	SPT + NEH
$\alpha = 0,8$	10	2	<u>98</u>	8,37	<u>0,03</u>	<u>39,45</u>	42,97
	20	0	<u>100</u>	12,33	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	30	0	<u>100</u>	15,27	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	40	0	<u>100</u>	17,83	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	50	0	<u>100</u>	19,87	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	60	0	<u>100</u>	21,28	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	70	0	<u>100</u>	22,89	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	80	0	<u>100</u>	23,72	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	90	0	<u>100</u>	24,93	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	100	0	<u>100</u>	25,63	<u>0,00</u>	32,93	32,93

	110	0	<u>100</u>	26,55	<u>0,00</u>	<u>32,85</u>	32,97
	120	0	<u>100</u>	27,24	<u>0,00</u>	33,01	<u>32,93</u>
	130	0	<u>100</u>	27,68	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	140	0	<u>100</u>	28,57	<u>0,00</u>	33,16	<u>32,97</u>
	150	0	<u>100</u>	29,00	<u>0,00</u>	33,40	<u>32,93</u>
	160	0	<u>100</u>	29,67	<u>0,00</u>	33,95	<u>32,93</u>
	170	0	<u>100</u>	30,21	<u>0,00</u>	33,71	<u>32,97</u>
	180	0	<u>100</u>	30,62	<u>0,00</u>	<u>34,26</u>	34,85
	190	0	<u>100</u>	31,07	<u>0,00</u>	<u>34,26</u>	39,42
	200	0	<u>100</u>	31,31	<u>0,00</u>	<u>33,94</u>	44,61
$\alpha = 0,9$	10	1	<u>99</u>	10,43	<u>0,03</u>	<u>40,90</u>	41,72
	20	0	<u>100</u>	13,69	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	30	0	<u>100</u>	16,05	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	40	0	<u>100</u>	18,22	<u>0,00</u>	32,97	<u>32,93</u>
	50	0	<u>100</u>	19,89	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
	60	0	<u>100</u>	21,38	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	70	0	<u>100</u>	22,70	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	80	0	<u>100</u>	23,50	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	90	0	<u>100</u>	24,63	<u>0,00</u>	32,97	<u>32,93</u>
	100	0	<u>100</u>	25,20	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	110	0	<u>100</u>	26,12	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	120	0	<u>100</u>	26,90	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	130	0	<u>100</u>	27,28	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	140	0	<u>100</u>	28,17	<u>0,00</u>	33,24	<u>32,97</u>
	150	0	<u>100</u>	28,59	<u>0,00</u>	33,12	<u>32,97</u>
	160	0	<u>100</u>	29,29	<u>0,00</u>	33,44	<u>32,93</u>
	170	0	<u>100</u>	29,78	<u>0,00</u>	33,60	<u>33,01</u>
	180	0	<u>100</u>	30,25	<u>0,00</u>	33,59	34,73
	190	0	<u>100</u>	30,66	<u>0,00</u>	<u>34,30</u>	39,42
	200	0	<u>100</u>	30,88	<u>0,00</u>	<u>34,88</u>	44,61

Fonte: Autoria própria, 2016

Tabela 6 – Comparação entre os métodos SPT e SPT + NEH, com variação de  $\alpha = 1,0$

	N	% DE SUCESSO		DESVIO RELATIVO MÉDIO		TEMPO MÉDIO (ms)	
		SPT	SPT + NEH	SPT	SPT + NEH	SPT	SPT + NEH
$\alpha = 1,0$	10	0,25	<u>100</u>	15,95	<u>0,00</u>	<u>38,60</u>	41,95
	20	0	<u>100</u>	20,35	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	30	0	<u>100</u>	22,26	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	40	0	<u>100</u>	24,14	<u>0,00</u>	32,93	32,93

50	0	<u>100</u>	25,34	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
60	0	<u>100</u>	26,04	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
70	0	<u>100</u>	26,95	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
80	0	<u>100</u>	27,57	<u>0,00</u>	32,93	32,93
90	0	<u>100</u>	28,25	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
100	0	<u>100</u>	28,60	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
110	0	<u>100</u>	29,20	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
120	0	<u>100</u>	29,57	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
130	0	<u>100</u>	29,84	<u>0,00</u>	33,01	33,01
140	0	<u>100</u>	30,35	<u>0,00</u>	33,20	<u>32,93</u>
150	0	<u>100</u>	30,73	<u>0,00</u>	33,83	<u>32,93</u>
160	0	<u>100</u>	30,97	<u>0,00</u>	33,75	<u>32,93</u>
170	0	<u>100</u>	31,34	<u>0,00</u>	33,60	<u>32,93</u>
180	0	<u>100</u>	31,69	<u>0,00</u>	<u>34,02</u>	34,92
190	0	<u>100</u>	31,99	<u>0,00</u>	<u>34,14</u>	39,57
200	0	<u>100</u>	32,06	<u>0,00</u>	<u>34,61</u>	44,69

Fonte: Autoria própria, 2016.

### APENDICE 3 – Comparação entre as heurísticas Randômica e Randômica + NEH

Tabela 1 – Comparação entre os métodos Randômica e Randômica + NEH, com variação de  $\alpha = 0$  à  $\alpha = 0,1$

	N	% DE SUCESSO		DESVIO RELATIVO MÉDIO		TEMPO MÉDIO (ms)	
		RAND	RAND + NEH	RAND	RAND + NEH	RAND	RAND + NEH
$\alpha = 0,0$	10	0	<u>100</u>	15,78	<u>0,00</u>	<u>35,12</u>	40,66
	20	0	<u>100</u>	26,50	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	30	0	<u>100</u>	32,85	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,63
	40	0	<u>100</u>	37,27	<u>0,00</u>	32,97	<u>32,93</u>
	50	0	<u>100</u>	40,58	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	60	0	<u>100</u>	43,25	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	70	0	<u>100</u>	45,02	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,32
	80	0	<u>100</u>	47,21	<u>0,00</u>	40,08	<u>32,93</u>
	90	0	<u>100</u>	48,89	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,52
	100	0	<u>100</u>	50,13	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	110	0	<u>100</u>	51,22	<u>0,00</u>	<u>32,97</u>	33,09
	120	0	<u>100</u>	52,14	<u>0,00</u>	<u>33,01</u>	33,09
	130	0	<u>100</u>	53,11	<u>0,00</u>	<u>33,09</u>	33,40
	140	0	<u>100</u>	54,04	<u>0,00</u>	<u>33,60</u>	36,92
	150	0	<u>100</u>	55,00	<u>0,00</u>	<u>34,02</u>	56,68
	160	0	<u>100</u>	55,62	<u>0,00</u>	<u>33,75</u>	35,94
	170	0	<u>100</u>	56,29	<u>0,00</u>	<u>34,88</u>	39,06
	180	0	<u>100</u>	57,03	<u>0,00</u>	<u>34,69</u>	43,99
	190	0	<u>100</u>	57,37	<u>0,00</u>	<u>35,31</u>	49,49
	200	0	<u>100</u>	57,94	<u>0,00</u>	<u>34,65</u>	55,39
$\alpha = 0,1$	10	0	<u>100</u>	15,77	<u>0,00</u>	<u>40,47</u>	48,81
	20	0	<u>100</u>	26,44	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	34,22
	30	0	<u>100</u>	32,84	<u>0,00</u>	32,85	<u>32,81</u>
	40	0	<u>100</u>	37,31	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	50	0	<u>100</u>	40,43	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	60	0	<u>100</u>	43,19	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	70	0	<u>100</u>	44,92	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	80	0	<u>100</u>	47,14	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	90	0	<u>100</u>	48,80	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	100	0	<u>100</u>	50,13	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,52
	110	0	<u>100</u>	51,19	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,67
	120	0	<u>100</u>	52,10	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,99

	130	0	<u>100</u>	53,12	<u>0,00</u>	<u>33,36</u>	33,95
	140	0	<u>100</u>	53,98	<u>0,00</u>	<u>33,24</u>	34,02
	150	0	<u>100</u>	54,97	<u>0,00</u>	<u>33,63</u>	33,67
	160	0	<u>100</u>	55,61	<u>0,00</u>	33,75	<u>33,36</u>
	170	0	<u>100</u>	56,30	<u>0,00</u>	<u>34,69</u>	36,80
	180	0	<u>100</u>	57,00	<u>0,00</u>	<u>34,14</u>	42,19
	190	0	<u>100</u>	57,30	<u>0,00</u>	<u>35,12</u>	48,13
	200	0	<u>100</u>	57,90	<u>0,00</u>	<u>34,85</u>	53,91

Fonte: Autoria própria, 2016.

Tabela 2 – Comparação entre os métodos Randômica e Randômica + NEH, com variação de  $\alpha = 0,2$  à  $\alpha = 0,3$

	N	% DE SUCESSO		DESVIO RELATIVO MÉDIO		TEMPO MÉDIO (ms)	
		RAND	RAND + NEH	RAND	RAND + NEH	RAND	RAND + NEH
$\alpha = 0,2$	10	0	<u>100</u>	15,71	<u>0,00</u>	49,88	<u>46,70</u>
	20	0	<u>100</u>	26,32	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	30	0	<u>100</u>	32,78	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	40	0	<u>100</u>	37,18	<u>0,00</u>	<u>32,85</u>	32,93
	50	0	<u>100</u>	40,38	<u>0,00</u>	32,97	<u>32,93</u>
	60	0	<u>100</u>	43,17	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	70	0	<u>100</u>	44,79	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	80	0	<u>100</u>	47,08	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	90	0	<u>100</u>	48,77	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,05
	100	0	<u>100</u>	50,01	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,21
	110	0	<u>100</u>	51,18	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	34,10
	120	0	<u>100</u>	52,00	<u>0,00</u>	<u>33,09</u>	33,79
	130	0	<u>100</u>	53,09	<u>0,00</u>	<u>33,32</u>	33,52
	140	0	<u>100</u>	53,93	<u>0,00</u>	33,59	<u>33,48</u>
	150	0	<u>100</u>	54,87	<u>0,00</u>	34,02	<u>33,36</u>
	160	0	<u>100</u>	55,58	<u>0,00</u>	34,26	<u>33,56</u>
	170	0	<u>100</u>	56,26	<u>0,00</u>	<u>34,88</u>	37,42
	180	0	<u>100</u>	56,98	<u>0,00</u>	<u>34,77</u>	42,35
	190	0	<u>100</u>	57,22	<u>0,00</u>	<u>35,39</u>	47,89
	200	0	<u>100</u>	57,84	<u>0,00</u>	<u>35,00</u>	54,34
$\alpha = 0,3$	10	0	<u>100</u>	15,60	<u>0,00</u>	43,40	<u>40,86</u>
	20	0	<u>100</u>	26,22	<u>0,00</u>	<u>32,85</u>	32,93
	30	0	<u>100</u>	32,60	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	40	0	<u>100</u>	37,05	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
	50	0	<u>100</u>	40,25	<u>0,00</u>	32,93	32,93

60	0	<u>100</u>	42,98	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
70	0	<u>100</u>	44,69	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
80	0	<u>100</u>	46,97	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
90	0	<u>100</u>	48,70	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
100	0	<u>100</u>	49,87	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,52
110	0	<u>100</u>	51,12	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,48
120	0	<u>100</u>	51,90	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,20
130	0	<u>100</u>	53,01	<u>0,00</u>	<u>33,24</u>	33,52
140	0	<u>100</u>	53,84	<u>0,00</u>	<u>33,09</u>	33,44
150	0	<u>100</u>	54,84	<u>0,00</u>	33,91	<u>33,79</u>
160	0	<u>100</u>	55,51	<u>0,00</u>	34,06	<u>33,56</u>
170	0	<u>100</u>	56,17	<u>0,00</u>	<u>34,30</u>	37,03
180	0	<u>100</u>	56,89	<u>0,00</u>	<u>34,92</u>	42,43
190	0	<u>100</u>	57,18	<u>0,00</u>	<u>34,96</u>	48,28
200	0	<u>100</u>	57,76	<u>0,00</u>	<u>35,23</u>	53,99

Fonte: Autoria própria, 2016.

Tabela 3 – Comparação entre os métodos Randômica e Randômica + NEH, com variação de  $\alpha = 0,4$  à  $\alpha = 0,5$

	N	% DE SUCESSO		DESVIO RELATIVO MÉDIO		TEMPO MÉDIO (ms)	
		RAND	RAND + NEH	RAND	RAND + NEH	RAND	RAND + NEH
$\alpha = 0,4$	10	0	<u>100</u>	15,48	<u>0,00</u>	42,97	<u>39,65</u>
	20	0	<u>100</u>	26,06	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	30	0	<u>100</u>	32,38	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	40	0	<u>100</u>	36,93	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	50	0	<u>100</u>	40,06	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	60	0	<u>100</u>	42,81	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	70	0	<u>100</u>	44,51	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	80	0	<u>100</u>	46,81	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	90	0	<u>100</u>	48,60	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	100	0	<u>100</u>	49,76	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,16
	110	0	<u>100</u>	50,98	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	34,18
	120	0	<u>100</u>	51,82	<u>0,00</u>	<u>33,13</u>	33,63
	130	0	<u>100</u>	52,90	<u>0,00</u>	<u>33,36</u>	33,87
	140	0	<u>100</u>	53,75	<u>0,00</u>	<u>33,44</u>	33,83
	150	0	<u>100</u>	54,74	<u>0,00</u>	<u>33,24</u>	34,22
	160	0	<u>100</u>	55,42	<u>0,00</u>	33,99	<u>33,28</u>
	170	0	<u>100</u>	56,07	<u>0,00</u>	<u>34,45</u>	37,31
180	0	<u>100</u>	56,78	<u>0,00</u>	<u>34,65</u>	42,97	

	190	0	<u>100</u>	57,09	<u>0,00</u>	<u>35,04</u>	48,36
	200	0	<u>100</u>	57,69	<u>0,00</u>	<u>35,12</u>	54,03
$\alpha = 0,5$	10	0	<u>100</u>	15,43	<u>0,00</u>	45,43	<u>41,64</u>
	20	0	<u>100</u>	25,78	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	30	0	<u>100</u>	32,18	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	40	0	<u>100</u>	36,61	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	50	0	<u>100</u>	39,84	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	60	0	<u>100</u>	42,48	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	70	0	<u>100</u>	44,27	<u>0,00</u>	<u>32,85</u>	32,93
	80	0	<u>100</u>	46,64	<u>0,00</u>	32,97	32,97
	90	0	<u>100</u>	48,32	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	100	0	<u>100</u>	49,61	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,48
	110	0	<u>100</u>	50,78	<u>0,00</u>	<u>32,97</u>	34,18
	120	0	<u>100</u>	51,58	<u>0,00</u>	<u>32,85</u>	33,71
	130	0	<u>100</u>	52,70	<u>0,00</u>	<u>33,20</u>	33,63
	140	0	<u>100</u>	53,56	<u>0,00</u>	33,71	<u>33,44</u>
	150	0	<u>100</u>	54,54	<u>0,00</u>	33,91	<u>33,75</u>
	160	0	<u>100</u>	55,29	<u>0,00</u>	33,63	33,63
	170	0	<u>100</u>	55,91	<u>0,00</u>	<u>34,61</u>	37,23
	180	0	<u>100</u>	56,57	<u>0,00</u>	<u>34,57</u>	42,78
190	0	<u>100</u>	56,93	<u>0,00</u>	<u>35,39</u>	48,13	
200	0	<u>100</u>	57,49	<u>0,00</u>	<u>35,00</u>	54,10	

Fonte: Autoria própria, 2016.

Tabela 4 – Comparação entre os métodos Randômica e Randômica + NEH, com variação de  $\alpha = 0,6$  à  $\alpha = 0,7$

	N	% DE SUCESSO		DESVIO RELATIVO MÉDIO		TEMPO MÉDIO (ms)	
		RAND	RAND + NEH	RAND	RAND + NEH	RAND	RAND + NEH
$\alpha = 0,6$	10	0	<u>100</u>	15,40	<u>0,00</u>	<u>40,00</u>	43,79
	20	0	<u>100</u>	25,64	<u>0,00</u>	71,52	<u>33,01</u>
	30	0	<u>100</u>	31,96	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	40	0	<u>100</u>	36,26	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	50	0	<u>100</u>	39,54	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	60	0	<u>100</u>	42,18	<u>0,00</u>	32,97	32,97
	70	0	<u>100</u>	43,99	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
	80	0	<u>100</u>	46,38	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
	90	0	<u>100</u>	48,06	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	100	0	<u>100</u>	49,38	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,09
	110	0	<u>100</u>	50,59	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,71

	120	0	<u>100</u>	51,34	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,24
	130	0	<u>100</u>	52,45	<u>0,00</u>	<u>33,09</u>	33,71
	140	0	<u>100</u>	53,26	<u>0,00</u>	<u>33,75</u>	33,87
	150	0	<u>100</u>	54,29	<u>0,00</u>	<u>33,67</u>	33,75
	160	0	<u>100</u>	55,07	<u>0,00</u>	34,38	<u>33,75</u>
	170	0	<u>100</u>	55,70	<u>0,00</u>	<u>34,26</u>	37,07
	180	0	<u>100</u>	56,42	<u>0,00</u>	<u>34,65</u>	42,11
	190	0	<u>100</u>	56,72	<u>0,00</u>	<u>34,41</u>	48,17
	200	0	<u>100</u>	57,29	<u>0,00</u>	<u>35,24</u>	54,57
$\alpha = 0,7$	10	0	<u>100</u>	15,41	<u>0,00</u>	42,62	<u>38,98</u>
	20	0	<u>100</u>	25,49	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	30	0	<u>100</u>	31,71	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	40	0	<u>100</u>	35,80	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	50	0	<u>100</u>	39,08	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	60	0	<u>100</u>	41,74	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	70	0	<u>100</u>	43,62	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	80	0	<u>100</u>	45,95	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	90	0	<u>100</u>	47,63	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	100	0	<u>100</u>	49,00	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,20
	110	0	<u>100</u>	50,19	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,95
	120	0	<u>100</u>	50,96	<u>0,00</u>	<u>33,05</u>	33,60
	130	0	<u>100</u>	52,08	<u>0,00</u>	<u>33,24</u>	33,98
	140	0	<u>100</u>	52,94	<u>0,00</u>	<u>33,44</u>	34,10
	150	0	<u>100</u>	53,89	<u>0,00</u>	33,91	33,91
	160	0	<u>100</u>	54,77	<u>0,00</u>	33,83	<u>33,63</u>
	170	0	<u>100</u>	55,38	<u>0,00</u>	<u>34,49</u>	37,07
180	0	<u>100</u>	56,11	<u>0,00</u>	<u>35,00</u>	42,35	
190	0	<u>100</u>	56,43	<u>0,00</u>	<u>34,88</u>	48,40	
200	0	<u>100</u>	57,00	<u>0,00</u>	<u>35,43</u>	54,22	

Fonte: Autoria própria, 2016

Tabela 5 – Comparação entre os métodos Randômica e Randômica + NEH, com variação de  $\alpha = 0,8$  à  $\alpha = 0,9$

	N	% DE SUCESSO		DESVIO RELATIVO MÉDIO		TEMPO MÉDIO (ms)	
		RAND	RAND + NEH	RAND	RAND + NEH	RAND	RAND + NEH
$\alpha = 0,8$	10	0	<u>100</u>	15,64	<u>0,00</u>	44,34	<u>41,88</u>
	20	0	<u>100</u>	25,50	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	30	0	<u>100</u>	31,40	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	40	0	<u>100</u>	35,44	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97

	50	0	<u>100</u>	38,63	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
	60	0	<u>100</u>	41,17	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	70	0	<u>100</u>	43,15	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
	80	0	<u>100</u>	45,38	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	90	0	<u>100</u>	47,02	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,09
	100	0	<u>100</u>	48,45	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,44
	110	0	<u>100</u>	49,51	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,99
	120	0	<u>100</u>	50,43	<u>0,00</u>	<u>33,09</u>	34,10
	130	0	<u>100</u>	51,52	<u>0,00</u>	33,28	<u>33,13</u>
	140	0	<u>100</u>	52,44	<u>0,00</u>	<u>33,48</u>	33,83
	150	0	<u>100</u>	53,40	<u>0,00</u>	33,91	<u>33,75</u>
	160	0	<u>100</u>	54,18	<u>0,00</u>	33,75	<u>33,52</u>
	170	0	<u>100</u>	54,91	<u>0,00</u>	<u>34,26</u>	37,19
	180	0	<u>100</u>	55,63	<u>0,00</u>	<u>34,26</u>	42,35
	190	0	<u>100</u>	56,02	<u>0,00</u>	<u>34,81</u>	48,63
	200	0	<u>100</u>	56,53	<u>0,00</u>	<u>35,00</u>	54,14
$\alpha = 0,9$	10	0	<u>100</u>	16,56	<u>0,00</u>	<u>40,39</u>	49,57
	20	0	<u>100</u>	26,03	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	30	0	<u>100</u>	31,53	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	40	0	<u>100</u>	35,19	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	50	0	<u>100</u>	38,22	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	60	0	<u>100</u>	40,60	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	70	0	<u>100</u>	42,59	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	80	0	<u>100</u>	44,57	<u>0,00</u>	32,97	<u>32,93</u>
	90	0	<u>100</u>	46,24	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	100	0	<u>100</u>	47,45	<u>0,00</u>	<u>32,97</u>	33,56
	110	0	<u>100</u>	48,57	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,60
	120	0	<u>100</u>	49,51	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,24
	130	0	<u>100</u>	50,66	<u>0,00</u>	<u>33,20</u>	34,30
	140	0	<u>100</u>	51,55	<u>0,00</u>	33,40	<u>33,36</u>
	150	0	<u>100</u>	52,46	<u>0,00</u>	33,95	<u>33,59</u>
	160	0	<u>100</u>	53,24	<u>0,00</u>	33,83	<u>33,44</u>
	170	0	<u>100</u>	53,93	<u>0,00</u>	<u>35,00</u>	37,15
	180	0	<u>100</u>	54,71	<u>0,00</u>	<u>34,34</u>	42,42
	190	0	<u>100</u>	55,11	<u>0,00</u>	<u>35,16</u>	48,24
200	0	<u>100</u>	55,64	<u>0,00</u>	<u>35,47</u>	54,38	

Fonte: Autoria própria, 2016.

**Tabela 6 – Comparação entre os métodos Randômica e Randômica + NEH, com variação de  $\alpha = 1$**

	N	% DE SUCESSO		DESVIO RELATIVO MÉDIO		TEMPO MÉDIO (ms)	
		RAND	RAND + NEH	RAND	RAND + NEH	RAND	RAND + NEH
$\alpha = 1,0$	10	0	<u>100</u>	18,84	<u>0,00</u>	42,46	<u>40,90</u>
	20	0	<u>100</u>	28,92	<u>0,00</u>	32,97	32,97
	30	0	<u>100</u>	34,15	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	40	0	<u>100</u>	37,63	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	50	0	<u>100</u>	39,87	<u>0,00</u>	32,97	<u>32,93</u>
	60	0	<u>100</u>	41,85	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	70	0	<u>100</u>	43,20	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	80	0	<u>100</u>	44,84	<u>0,00</u>	32,97	32,97
	90	0	<u>100</u>	45,89	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,05
	100	0	<u>100</u>	46,76	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,40
	110	0	<u>100</u>	47,64	<u>0,00</u>	<u>33,01</u>	33,75
	120	0	<u>100</u>	48,06	<u>0,00</u>	<u>32,97</u>	33,13
	130	0	<u>100</u>	48,93	<u>0,00</u>	<u>33,24</u>	33,56
	140	0	<u>100</u>	49,59	<u>0,00</u>	<u>33,36</u>	33,79
	150	0	<u>100</u>	50,30	<u>0,00</u>	33,79	<u>33,56</u>
	160	0	<u>100</u>	50,80	<u>0,00</u>	34,10	<u>33,63</u>
	170	0	<u>100</u>	51,19	<u>0,00</u>	<u>33,99</u>	37,50
	180	0	<u>100</u>	51,78	<u>0,00</u>	<u>34,34</u>	42,35
190	0	<u>100</u>	52,03	<u>0,00</u>	<u>34,26</u>	48,16	
200	0	<u>100</u>	52,46	<u>0,00</u>	<u>35,08</u>	54,49	

Fonte: Autoria própria, 2016.

## APENDICE 4 – Comparação entre as heurísticas Triangular e Triangular + NEH

Tabela 1 – Comparação entre os métodos Triangular e Triangular + NEH, com variação de  $\alpha = 0$  à  $\alpha = 0,1$

	N	% DE SUCESSO		DESVIO RELATIVO MÉDIO		TEMPO MÉDIO (ms)	
		TRI	TRI + NEH	TRI	TRI + NEH	TRI	TRI + NEH
$\alpha = 0,0$	10	0,25	<u>100</u>	10,60	<u>0,00</u>	78,28	<u>38,52</u>
	20	0	<u>100</u>	16,20	<u>0,00</u>	36,45	<u>33,48</u>
	30	0	<u>100</u>	20,13	<u>0,00</u>	35,00	<u>32,93</u>
	40	0	<u>100</u>	23,23	<u>0,00</u>	33,79	<u>32,93</u>
	50	0	<u>100</u>	25,16	<u>0,00</u>	33,09	<u>32,97</u>
	60	0	<u>100</u>	26,64	<u>0,00</u>	33,09	<u>32,93</u>
	70	0	<u>100</u>	28,65	<u>0,00</u>	33,13	<u>32,97</u>
	80	0	<u>100</u>	29,64	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	90	0	<u>100</u>	30,95	<u>0,00</u>	33,09	<u>33,01</u>
	100	0	<u>100</u>	31,65	<u>0,00</u>	56,96	<u>32,97</u>
	110	0	<u>100</u>	32,58	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	120	0	<u>100</u>	33,31	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,28
	130	0	<u>100</u>	34,17	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,36
	140	0	<u>100</u>	34,76	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,28
	150	0	<u>100</u>	35,30	<u>0,00</u>	<u>32,85</u>	33,87
	160	0	<u>100</u>	35,85	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,91
	170	0	<u>100</u>	36,14	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	34,22
	180	0	<u>100</u>	36,73	<u>0,00</u>	<u>32,97</u>	38,52
	190	0	<u>100</u>	36,88	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	43,71
	200	0	<u>100</u>	37,21	<u>0,00</u>	<u>33,20</u>	49,96
$\alpha = 0,1$	10	0,25	<u>100</u>	10,46	<u>0,00</u>	<u>35,35</u>	44,26
	20	0	<u>100</u>	16,03	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	30	0	<u>100</u>	20,11	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	40	0	<u>100</u>	23,18	<u>0,00</u>	32,89	<u>32,85</u>
	50	0	<u>100</u>	25,14	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,01
	60	0	<u>100</u>	26,65	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	70	0	<u>100</u>	28,60	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	80	0	<u>100</u>	29,64	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	90	0	<u>100</u>	30,87	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	100	0	<u>100</u>	31,65	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	110	0	<u>100</u>	32,60	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	120	0	<u>100</u>	33,32	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,01
	130	0	<u>100</u>	34,12	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,28

	140	0	<u>100</u>	34,69	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	34,30
	150	0	<u>100</u>	35,25	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,20
	160	0	<u>100</u>	35,86	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,01
	170	0	<u>100</u>	36,11	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,40
	180	0	<u>100</u>	36,70	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	36,21
	190	0	<u>100</u>	36,96	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	41,56
	200	0	<u>100</u>	37,21	<u>0,00</u>	<u>40,08</u>	47,73

Fonte: Autoria própria, 2016.

Tabela 2 – Comparação entre os métodos Triangular e Triangular + NEH, com variação de  $\alpha = 0,2$  à  $\alpha = 0,3$

	N	% DE SUCESSO		DESVIO RELATIVO MÉDIO		TEMPO MÉDIO (ms)	
		TRI	TRI + NEH	TRI	TRI + NEH	TRI	TRI + NEH
$\alpha = 0,2$	10	0,25	<u>100</u>	10,33	<u>0,00</u>	<u>34,38</u>	44,53
	20	0	<u>100</u>	15,94	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
	30	0	<u>100</u>	20,03	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	40	0	<u>100</u>	23,09	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	50	0	<u>100</u>	25,05	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	60	0	<u>100</u>	26,53	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	70	0	<u>100</u>	28,58	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
	80	0	<u>100</u>	29,60	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	90	0	<u>100</u>	30,82	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	100	0	<u>100</u>	31,61	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
	110	0	<u>100</u>	32,52	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	120	0	<u>100</u>	33,24	<u>0,00</u>	41,45	<u>33,20</u>
	130	0	<u>100</u>	34,06	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,28
	140	0	<u>100</u>	34,67	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,17
	150	0	<u>100</u>	35,26	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,17
	160	0	<u>100</u>	35,81	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,20
	170	0	<u>100</u>	36,12	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,40
	180	0	<u>100</u>	36,69	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	36,17
	190	0	<u>100</u>	36,92	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	41,60
	200	0	<u>100</u>	37,22	<u>0,00</u>	<u>33,05</u>	47,58
$\alpha = 0,3$	10	0,25	<u>100</u>	10,11	<u>0,00</u>	<u>35,00</u>	42,89
	20	0	<u>100</u>	15,75	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
	30	0	<u>100</u>	19,83	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	40	0	<u>100</u>	22,97	<u>0,00</u>	38,91	<u>32,97</u>
	50	0	<u>100</u>	24,96	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
	60	0	<u>100</u>	26,45	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97

70	0	<u>100</u>	28,48	<u>0,00</u>	<u>32,81</u>	32,89
80	0	<u>100</u>	29,49	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
90	0	<u>100</u>	30,78	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
100	0	<u>100</u>	31,50	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
110	0	<u>100</u>	32,45	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
120	0	<u>100</u>	33,14	<u>0,00</u>	<u>32,85</u>	32,93
130	0	<u>100</u>	33,98	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,20
140	0	<u>100</u>	34,63	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,36
150	0	<u>100</u>	35,27	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,20
160	0	<u>100</u>	35,82	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,56
170	0	<u>100</u>	36,10	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,28
180	0	<u>100</u>	36,62	<u>0,00</u>	<u>32,85</u>	36,64
190	0	<u>100</u>	36,88	<u>0,00</u>	<u>32,85</u>	41,80
200	0	<u>100</u>	37,15	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	47,62

Fonte: Autoria própria, 2016.

Tabela 3 – Comparação entre os métodos Triangular e Triangular + NEH, com variação de  $\alpha = 0,4$  à  $\alpha = 0,5$

	N	% DE SUCESSO		DESVIO RELATIVO MÉDIO		TEMPO MÉDIO (ms)	
		TRI	TRI + NEH	TRI	TRI + NEH	TRI	TRI + NEH
$\alpha = 0,4$	10	0,25	<u>100</u>	9,92	<u>0,00</u>	<u>39,03</u>	41,17
	20	0	<u>100</u>	15,52	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	30	0	<u>100</u>	19,48	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	40	0	<u>100</u>	22,79	<u>0,00</u>	<u>32,85</u>	32,93
	50	0	<u>100</u>	24,81	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	60	0	<u>100</u>	26,29	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
	70	0	<u>100</u>	28,34	<u>0,00</u>	<u>32,85</u>	32,93
	80	0	<u>100</u>	29,35	<u>0,00</u>	<u>32,97</u>	35,16
	90	0	<u>100</u>	30,58	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
	100	0	<u>100</u>	31,39	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	110	0	<u>100</u>	32,35	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	120	0	<u>100</u>	33,14	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,05
	130	0	<u>100</u>	33,91	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,09
	140	0	<u>100</u>	34,52	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,20
	150	0	<u>100</u>	35,20	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,05
	160	0	<u>100</u>	35,77	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,05
	170	0	<u>100</u>	36,04	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,05
	180	0	<u>100</u>	36,60	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	36,13
190	0	<u>100</u>	36,86	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	41,53	

	200	0	<u>100</u>	37,12	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	47,27
$\alpha = 0,5$	10	0,25	<u>100</u>	9,66	<u>0,00</u>	39,38	<u>39,30</u>
	20	0	<u>100</u>	15,21	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	30	0	<u>100</u>	19,16	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	40	0	<u>100</u>	22,47	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
	50	0	<u>100</u>	24,52	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	60	0	<u>100</u>	26,02	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	70	0	<u>100</u>	28,10	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	34,26
	80	0	<u>100</u>	29,18	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	90	0	<u>100</u>	30,37	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
	100	0	<u>100</u>	31,22	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	110	0	<u>100</u>	32,18	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
	120	0	<u>100</u>	32,93	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,01
	130	0	<u>100</u>	33,77	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,01
	140	0	<u>100</u>	34,42	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,05
	150	0	<u>100</u>	35,02	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	160	0	<u>100</u>	35,61	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,01
	170	0	<u>100</u>	35,94	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,09
	180	0	<u>100</u>	36,52	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	36,29
	190	0	<u>100</u>	36,78	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	41,49
200	0	<u>100</u>	36,97	<u>0,00</u>	<u>33,01</u>	47,30	

Fonte: Autoria própria, 2016

Tabela 4 – Comparação entre os métodos Triangular e Triangular + NEH, com variação de  $\alpha = 0,6$  à  $\alpha = 0,7$

	N	% DE SUCESSO		DESVIO RELATIVO MÉDIO		TEMPO MÉDIO (ms)	
		TRI	TRI + NEH	TRI	TRI + NEH	TRI	TRI + NEH
$\alpha = 0,6$	10	0,25	<u>100</u>	9,33	<u>0,00</u>	39,45	<u>39,18</u>
	20	0	<u>100</u>	14,77	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
	30	0	<u>100</u>	18,73	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	40	0	<u>100</u>	21,96	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	50	0	<u>100</u>	24,07	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	60	0	<u>100</u>	25,67	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
	70	0	<u>100</u>	27,67	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	80	0	<u>100</u>	28,85	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	90	0	<u>100</u>	30,11	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
	100	0	<u>100</u>	30,97	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	110	0	<u>100</u>	31,86	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	120	0	<u>100</u>	32,57	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93

	130	0	<u>100</u>	33,51	<u>0,00</u>	<u>32,97</u>	33,13
	140	0	<u>100</u>	34,15	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,44
	150	0	<u>100</u>	34,70	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,05
	160	0	<u>100</u>	35,32	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,28
	170	0	<u>100</u>	35,62	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,20
	180	0	<u>100</u>	36,22	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	36,21
	190	0	<u>100</u>	36,52	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	41,64
	200	0	<u>100</u>	36,84	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	47,42
$\alpha = 0,7$	10	0,5	<u>99,75</u>	9,17	<u>0,00</u>	42,50	<u>39,26</u>
	20	0	<u>100</u>	14,29	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	30	0	<u>100</u>	18,22	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	40	0	<u>100</u>	21,36	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	50	0	<u>100</u>	23,46	<u>0,00</u>	<u>32,85</u>	32,97
	60	0	<u>100</u>	25,02	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	70	0	<u>100</u>	27,08	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	80	0	<u>100</u>	28,38	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	90	0	<u>100</u>	29,46	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
	100	0	<u>100</u>	30,46	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	110	0	<u>100</u>	31,49	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	120	0	<u>100</u>	32,15	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,05
	130	0	<u>100</u>	33,13	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	140	0	<u>100</u>	33,73	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,24
	150	0	<u>100</u>	34,35	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,05
	160	0	<u>100</u>	35,02	<u>0,00</u>	<u>32,85</u>	33,13
	170	0	<u>100</u>	35,32	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,32
	180	0	<u>100</u>	35,89	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	36,25
190	0	<u>100</u>	36,21	<u>0,00</u>	<u>32,85</u>	41,60	
200	0	<u>100</u>	36,57	<u>0,00</u>	<u>33,01</u>	47,46	

Fonte: Autoria própria, 2016.

Tabela 5 – Comparação entre os métodos Triangular e Triangular + NEH, com variação de  $\alpha = 0,8$  à  $\alpha = 0,9$

	N	% DE SUCESSO		DESVIO RELATIVO MÉDIO		TEMPO MÉDIO (ms)	
		TRI	TRI + NEH	TRI	TRI + NEH	TRI	TRI + NEH
$\alpha = 0,8$	10	1	<u>99,25</u>	9,13	<u>0,00</u>	46,21	<u>44,81</u>
	20	0	<u>100</u>	14,14	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	30	0	<u>100</u>	17,80	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	40	0	<u>100</u>	20,74	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	50	0	<u>100</u>	22,88	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97

	60	0	<u>100</u>	24,47	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	70	0	<u>100</u>	26,48	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	80	0	<u>100</u>	27,75	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	90	0	<u>100</u>	28,88	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	100	0	<u>100</u>	29,93	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	110	0	<u>100</u>	30,99	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	120	0	<u>100</u>	31,60	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,20
	130	0	<u>100</u>	32,57	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,48
	140	0	<u>100</u>	33,30	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,60
	150	0	<u>100</u>	33,80	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,98
	160	0	<u>100</u>	34,56	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,01
	170	0	<u>100</u>	34,80	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,40
	180	0	<u>100</u>	35,48	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	36,76
	190	0	<u>100</u>	35,86	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	42,11
200	0	<u>100</u>	36,11	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	47,85	
$\alpha = 0,9$	10	1	<u>99</u>	9,60	<u>0,02</u>	46,06	<u>39,14</u>
	20	0	<u>100</u>	14,06	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	30	0	<u>100</u>	17,56	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
	40	0	<u>100</u>	20,05	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	50	0	<u>100</u>	22,07	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	60	0	<u>100</u>	23,59	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
	70	0	<u>100</u>	25,60	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	80	0	<u>100</u>	26,78	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	90	0	<u>100</u>	27,86	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	100	0	<u>100</u>	28,95	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	110	0	<u>100</u>	30,01	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	120	0	<u>100</u>	30,70	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,20
	130	0	<u>100</u>	31,52	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,44
	140	0	<u>100</u>	32,31	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,67
	150	0	<u>100</u>	32,93	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,20
	160	0	<u>100</u>	33,69	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,28
	170	0	<u>100</u>	33,94	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,63
180	0	<u>100</u>	34,55	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	36,88	
190	0	<u>100</u>	34,94	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	41,80	
200	0	<u>100</u>	35,35	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	47,89	

Fonte: Autoria própria, 2016.

**Tabela 6 – Comparação entre os métodos Triangular e Triangular + NEH, com variação de  $\alpha = 1,0$**

	N	% DE SUCESSO		DESVIO RELATIVO MÉDIO		TEMPO MÉDIO (ms)	
		TRI	TRI + NEH	TRI	TRI + NEH	TRI	TRI + NEH
$\alpha = 1,0$	10	1,25	<u>99,25</u>	11,34	<u>0,02</u>	40,82	<u>39,26</u>
	20	0	<u>100</u>	15,81	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	30	0	<u>100</u>	18,67	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	40	0	<u>100</u>	20,63	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	50	0	<u>100</u>	22,16	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
	60	0	<u>100</u>	23,32	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	70	0	<u>100</u>	24,65	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	80	0	<u>100</u>	25,44	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	90	0	<u>100</u>	26,09	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	100	0	<u>100</u>	26,78	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,01
	110	0	<u>100</u>	27,45	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	120	0	<u>100</u>	27,91	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,13
	130	0	<u>100</u>	28,41	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,36
	140	0	<u>100</u>	28,87	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,56
	150	0	<u>100</u>	29,30	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,52
	160	0	<u>100</u>	29,80	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,36
	170	0	<u>100</u>	29,97	<u>0,00</u>	<u>32,97</u>	33,52
	180	0	<u>100</u>	30,33	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	36,53
	190	0	<u>100</u>	30,52	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	42,15
200	0	<u>100</u>	30,82	<u>0,00</u>	<u>32,97</u>	47,74	

Fonte: Autoria própria, 2016.

## APENDICE 5 – Comparação entre as heurísticas Triangular Invertida e Triangular Invertida + NEH

Tabela 1 – Comparação entre os métodos Triangular Invertida e Triangular Invertida + NEH, com variação de  $\alpha = 0$  à  $\alpha = 0,1$

	N	% DE SUCESSO		DESVIO RELATIVO MÉDIO		TEMPO MÉDIO (ms)	
		TRI. INV.	TRI. INV + NEH	TRI. INV.	TRI. INV + NEH	TRI. INV.	TRI. INV + NEH
$\alpha = 0,0$	10	0	<u>100</u>	24,99	<u>0,00</u>	35,31	35,31
	20	0	<u>100</u>	27,01	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	58,09
	30	0	<u>100</u>	28,57	<u>0,00</u>	41,25	<u>32,85</u>
	40	0	<u>100</u>	29,79	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,13
	50	0	<u>100</u>	30,57	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	60	0	<u>100</u>	31,28	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,85</u>
	70	0	<u>100</u>	32,44	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,05
	80	0	<u>100</u>	32,82	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	90	0	<u>100</u>	33,29	<u>0,00</u>	32,89	<u>32,85</u>
	100	0	<u>100</u>	33,70	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	110	0	<u>100</u>	33,96	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
	120	0	<u>100</u>	34,68	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,48
	130	0	<u>100</u>	34,95	<u>0,00</u>	<u>32,77</u>	33,63
	140	0	<u>100</u>	35,30	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	34,30
	150	0	<u>100</u>	35,62	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	35,08
	160	0	<u>100</u>	35,68	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	36,64
	170	0	<u>100</u>	36,24	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	42,78
	180	0	<u>100</u>	36,31	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	48,44
	190	0	<u>100</u>	36,71	<u>0,00</u>	<u>32,85</u>	54,30
	200	0	<u>100</u>	36,77	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	59,96
$\alpha = 0,1$	10	0	<u>100</u>	24,84	<u>0,00</u>	<u>40,39</u>	41,13
	20	0	<u>100</u>	26,97	<u>0,00</u>	32,89	<u>32,85</u>
	30	0	<u>100</u>	28,55	<u>0,00</u>	32,89	<u>32,85</u>
	40	0	<u>100</u>	29,74	<u>0,00</u>	56,02	<u>32,89</u>
	50	0	<u>100</u>	30,58	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	60	0	<u>100</u>	31,30	<u>0,00</u>	<u>32,85</u>	32,89
	70	0	<u>100</u>	32,45	<u>0,00</u>	32,89	<u>32,85</u>
	80	0	<u>100</u>	32,83	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	90	0	<u>100</u>	33,27	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	100	0	<u>100</u>	33,72	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	110	0	<u>100</u>	34,03	<u>0,00</u>	<u>32,85</u>	32,93
	120	0	<u>100</u>	34,69	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,09

	130	0	<u>100</u>	34,94	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,64
	140	0	<u>100</u>	35,30	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	34,02
	150	0	<u>100</u>	35,59	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	34,88
	160	0	<u>100</u>	35,69	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	34,88
	170	0	<u>100</u>	36,19	<u>0,00</u>	<u>32,97</u>	35,55
	180	0	<u>100</u>	36,36	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	39,57
	190	0	<u>100</u>	36,68	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	44,77
	200	0	<u>100</u>	36,78	<u>0,00</u>	<u>33,01</u>	50,20

Fonte: Autoria própria, 2016.

**Tabela 2 – Comparação entre os métodos Triangular Invertida e Triangular Invertida + NEH, com variação de  $\alpha = 0,2$  à  $\alpha = 0,3$**

	N	% DE SUCESSO		DESVIO RELATIVO MÉDIO		TEMPO MÉDIO (ms)	
		TRI. INV.	TRI. INV + NEH	TRI. INV.	TRI. INV + NEH	TRI. INV.	TRI. INV + NEH
$\alpha = 0,2$	10	0	<u>100</u>	24,75	<u>0,00</u>	<u>41,09</u>	44,85
	20	0	<u>100</u>	26,80	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	30	0	<u>100</u>	28,47	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	40	0	<u>100</u>	29,64	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	50	0	<u>100</u>	30,50	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,81</u>
	60	0	<u>100</u>	31,26	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	70	0	<u>100</u>	32,36	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	80	0	<u>100</u>	32,74	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	90	0	<u>100</u>	33,22	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	100	0	<u>100</u>	33,70	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	110	0	<u>100</u>	33,99	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	120	0	<u>100</u>	34,63	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,21
	130	0	<u>100</u>	34,89	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,95
	140	0	<u>100</u>	35,28	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	34,06
	150	0	<u>100</u>	35,58	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	34,65
	160	0	<u>100</u>	35,67	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	35,82
	170	0	<u>100</u>	36,15	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	35,74
	180	0	<u>100</u>	36,36	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	40,04
	190	0	<u>100</u>	36,60	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	44,41
	200	0	<u>100</u>	36,76	<u>0,00</u>	<u>32,97</u>	49,73
$\alpha = 0,3$	10	0	<u>100</u>	24,63	<u>0,00</u>	<u>45,12</u>	48,71
	20	0	<u>100</u>	26,62	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	30	0	<u>100</u>	28,30	<u>0,00</u>	32,89	<u>32,85</u>
	40	0	<u>100</u>	29,57	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
	50	0	<u>100</u>	30,41	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,85</u>

60	0	<u>100</u>	31,20	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
70	0	<u>100</u>	32,28	<u>0,00</u>	32,89	32,89
80	0	<u>100</u>	32,67	<u>0,00</u>	32,89	32,89
90	0	<u>100</u>	33,21	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,85</u>
100	0	<u>100</u>	33,68	<u>0,00</u>	32,89	32,89
110	0	<u>100</u>	33,96	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,85</u>
120	0	<u>100</u>	34,60	<u>0,00</u>	<u>32,85</u>	33,13
130	0	<u>100</u>	34,87	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,75
140	0	<u>100</u>	35,26	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	34,22
150	0	<u>100</u>	35,57	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	34,84
160	0	<u>100</u>	35,67	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	35,00
170	0	<u>100</u>	36,13	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	35,35
180	0	<u>100</u>	36,38	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	39,57
190	0	<u>100</u>	36,65	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	44,77
200	0	<u>100</u>	36,80	<u>0,00</u>	<u>35,43</u>	50,82

Fonte: Autoria própria, 2016.

**Tabela 3 – Comparação entre os métodos Triangular Invertida e Triangular Invertida + NEH, com variação de  $\alpha = 0,4$  à  $\alpha = 0,5$**

	N	% DE SUCESSO		DESVIO RELATIVO MÉDIO		TEMPO MÉDIO (ms)	
		TRI. INV.	TRI. INV + NEH	TRI. INV.	TRI. INV + NEH	TRI. INV.	TRI. INV + NEH
$\alpha = 0,4$	10	0	<u>100</u>	24,44	<u>0,00</u>	43,52	<u>39,73</u>
	20	0	<u>100</u>	26,45	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,85</u>
	30	0	<u>100</u>	28,20	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	40	0	<u>100</u>	29,42	<u>0,00</u>	<u>32,82</u>	32,89
	50	0	<u>100</u>	30,26	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	60	0	<u>100</u>	31,08	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	70	0	<u>100</u>	32,19	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	80	0	<u>100</u>	32,63	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	90	0	<u>100</u>	33,13	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	100	0	<u>100</u>	33,61	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	110	0	<u>100</u>	33,89	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	120	0	<u>100</u>	34,51	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,32
	130	0	<u>100</u>	34,77	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,67
	140	0	<u>100</u>	35,19	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,87
	150	0	<u>100</u>	35,48	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	35,04
	160	0	<u>100</u>	35,59	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	34,96
	170	0	<u>100</u>	36,10	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	36,52
180	0	<u>100</u>	36,31	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	39,88	

	190	0	<u>100</u>	36,70	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	44,85
	200	0	<u>100</u>	36,71	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	50,00
$\alpha = 0,5$	10	0	<u>100</u>	24,20	<u>0,00</u>	45,35	<u>41,99</u>
	20	0	<u>100</u>	26,21	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	30	0	<u>100</u>	27,94	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	40	0	<u>100</u>	29,19	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	50	0	<u>100</u>	30,09	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	60	0	<u>100</u>	30,89	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	70	0	<u>100</u>	32,03	<u>0,00</u>	32,89	32,89
	80	0	<u>100</u>	32,53	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	90	0	<u>100</u>	32,98	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	100	0	<u>100</u>	33,42	<u>0,00</u>	32,89	<u>32,85</u>
	110	0	<u>100</u>	33,81	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	120	0	<u>100</u>	34,44	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,09
	130	0	<u>100</u>	34,64	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,63
	140	0	<u>100</u>	35,06	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	34,42
	150	0	<u>100</u>	35,46	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	34,65
	160	0	<u>100</u>	35,51	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	35,28
	170	0	<u>100</u>	36,02	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	35,78
	180	0	<u>100</u>	36,23	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	39,73
	190	0	<u>100</u>	36,62	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	44,45
200	0	<u>100</u>	36,74	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	50,16	

Fonte: Autoria própria, 2016.

**Tabela 4 – Comparação entre os métodos Triangular Invertida e Triangular Invertida + NEH, com variação de  $\alpha = 0,6$  à  $\alpha = 0,7$**

	N	% DE SUCESSO		DESVIO RELATIVO MÉDIO		TEMPO MÉDIO (ms)	
		TRI. INV.	TRI. INV + NEH	TRI. INV.	TRI. INV + NEH	TRI. INV.	TRI. INV + NEH
$\alpha = 0,6$	10	0	<u>100</u>	23,99	<u>0,00</u>	38,99	<u>34,96</u>
	20	0	<u>100</u>	26,05	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	41,13
	30	0	<u>100</u>	27,79	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	40	0	<u>100</u>	29,02	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	50	0	<u>100</u>	29,94	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	60	0	<u>100</u>	30,69	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	70	0	<u>100</u>	31,85	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	80	0	<u>100</u>	32,44	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	90	0	<u>100</u>	32,90	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	100	0	<u>100</u>	33,36	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	110	0	<u>100</u>	33,68	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93

	120	0	<u>100</u>	34,35	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,13
	130	0	<u>100</u>	34,54	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,67
	140	0	<u>100</u>	34,99	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	34,06
	150	0	<u>100</u>	35,40	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	34,88
	160	0	<u>100</u>	35,53	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	35,31
	170	0	<u>100</u>	35,98	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	35,63
	180	0	<u>100</u>	36,25	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	39,53
	190	0	<u>100</u>	36,49	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	44,53
	200	0	<u>100</u>	36,65	<u>0,00</u>	<u>33,09</u>	49,69
$\alpha = 0,7$	10	0	<u>100</u>	23,90	<u>0,00</u>	43,98	<u>34,77</u>
	20	0	<u>100</u>	25,81	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	39,38
	30	0	<u>100</u>	27,46	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	40	0	<u>100</u>	28,81	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	50	0	<u>100</u>	29,79	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	60	0	<u>100</u>	30,51	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	70	0	<u>100</u>	31,60	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	32,97
	80	0	<u>100</u>	32,14	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	90	0	<u>100</u>	32,74	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	100	0	<u>100</u>	33,27	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	110	0	<u>100</u>	33,61	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	34,85
	120	0	<u>100</u>	34,31	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,09
	130	0	<u>100</u>	34,54	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,56
	140	0	<u>100</u>	34,98	<u>0,00</u>	<u>33,01</u>	34,49
	150	0	<u>100</u>	35,30	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	35,23
	160	0	<u>100</u>	35,34	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	34,69
	170	0	<u>100</u>	35,94	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	35,71
	180	0	<u>100</u>	36,20	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	39,45
	190	0	<u>100</u>	36,43	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	44,61
	200	0	<u>100</u>	36,51	<u>0,00</u>	<u>33,09</u>	50,31

Fonte: Autoria própria, 2016.

**Tabela 5 – Comparação entre os métodos Triangular Invertida e Triangular Invertida + NEH, com variação de  $\alpha = 0,8$  à  $\alpha = 0,9$**

	N	% DE SUCESSO		DESVIO RELATIVO MÉDIO		TEMPO MÉDIO	
		TRI. INV.	TRI. INV + NEH	TRI. INV.	TRI. INV + NEH	TRI. INV.	TRI. INV + NEH
$\alpha = 0,8$	10	0	<u>100</u>	23,80	<u>0,00</u>	<u>41,76</u>	42,81
	20	0	<u>100</u>	25,61	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	30	0	<u>100</u>	27,13	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
	40	0	<u>100</u>	28,39	<u>0,00</u>	32,93	32,93

	50	0	<u>100</u>	29,29	<u>0,00</u>	32,93	32,93	
	60	0	<u>100</u>	30,11	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93	
	70	0	<u>100</u>	31,37	<u>0,00</u>	32,93	32,93	
	80	0	<u>100</u>	31,74	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>	
	90	0	<u>100</u>	32,44	<u>0,00</u>	32,93	32,93	
	100	0	<u>100</u>	33,05	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93	
	110	0	<u>100</u>	33,33	<u>0,00</u>	32,89	32,89	
	120	0	<u>100</u>	33,91	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,01	
	130	0	<u>100</u>	34,22	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,40	
	140	0	<u>100</u>	34,72	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	34,81	
	150	0	<u>100</u>	35,01	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	34,69	
	160	0	<u>100</u>	35,18	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	34,73	
	170	0	<u>100</u>	35,65	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	34,92	
	180	0	<u>100</u>	35,94	<u>0,00</u>	<u>32,97</u>	39,53	
	190	0	<u>100</u>	36,23	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	43,99	
	200	0	<u>100</u>	36,45	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	50,78	
	$\alpha = 0,9$	10	0	<u>100</u>	24,15	<u>0,00</u>	<u>34,85</u>	42,27
		20	0	<u>100</u>	25,55	<u>0,00</u>	32,93	32,93
		30	0	<u>100</u>	26,70	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
		40	0	<u>100</u>	27,94	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93
50		0	<u>100</u>	28,78	<u>0,00</u>	47,15	<u>32,89</u>	
60		0	<u>100</u>	29,57	<u>0,00</u>	32,93	32,93	
70		0	<u>100</u>	30,73	<u>0,00</u>	32,89	32,89	
80		0	<u>100</u>	31,27	<u>0,00</u>	32,89	32,89	
90		0	<u>100</u>	31,82	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93	
100		0	<u>100</u>	32,40	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,93	
110		0	<u>100</u>	32,80	<u>0,00</u>	32,93	32,93	
120		0	<u>100</u>	33,41	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	33,24	
130		0	<u>100</u>	33,59	<u>0,00</u>	<u>32,85</u>	33,52	
140		0	<u>100</u>	34,24	<u>0,00</u>	<u>32,85</u>	34,41	
150		0	<u>100</u>	34,68	<u>0,00</u>	<u>34,57</u>	34,73	
160		0	<u>100</u>	34,68	<u>0,00</u>	<u>32,81</u>	35,63	
170		0	<u>100</u>	35,27	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	35,47	
180		0	<u>100</u>	35,54	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	38,71	
190		0	<u>100</u>	35,83	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	44,61	
200		0	<u>100</u>	35,96	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	50,08	

Fonte: Autoria própria, 2016.

**Tabela 6 – Comparação entre os métodos Triangular Invertida e Triangular Invertida + NEH, com variação de  $\alpha = 1,0$**

	N	% DE SUCESSO		DESVIO RELATIVO MÉDIO		TEMPO MÉDIO (ms)	
		TRI. INV.	TRI. INV. + NEH	TRI. INV.	TRI. INV. + NEH	TRI. INV.	TRI INV + NEH
$\alpha = 1,0$	10	0	<u>100</u>	26,17	<u>0,00</u>	<u>41,21</u>	46,84
	20	0	<u>100</u>	27,28	<u>0,00</u>	<u>32,89</u>	32,97
	30	0	<u>100</u>	27,74	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,85</u>
	40	0	<u>100</u>	28,22	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	50	0	<u>100</u>	28,98	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	60	0	<u>100</u>	29,18	<u>0,00</u>	32,97	<u>32,93</u>
	70	0	<u>100</u>	30,02	<u>0,00</u>	32,97	<u>32,89</u>
	80	0	<u>100</u>	30,15	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	90	0	<u>100</u>	30,41	<u>0,00</u>	32,93	32,93
	100	0	<u>100</u>	30,75	<u>0,00</u>	32,97	<u>32,89</u>
	110	0	<u>100</u>	31,14	<u>0,00</u>	32,93	<u>32,89</u>
	120	0	<u>100</u>	31,53	<u>0,00</u>	<u>32,97</u>	33,36
	130	0	<u>100</u>	31,67	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	33,52
	140	0	<u>100</u>	31,96	<u>0,00</u>	<u>32,97</u>	33,99
	150	0	<u>100</u>	32,13	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	34,22
	160	0	<u>100</u>	32,41	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	34,34
	170	0	<u>100</u>	32,63	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	35,16
	180	0	<u>100</u>	32,84	<u>0,00</u>	<u>32,97</u>	39,14
	190	0	<u>100</u>	33,14	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	45,35
200	0	<u>100</u>	33,20	<u>0,00</u>	<u>32,93</u>	50,35	

Fonte: Autoria própria, 2016.