

Teste de Wilcoxon aplicado em avaliações de heurísticas para o problema de programação de tarefas em máquinas

Murillo Vetroni Barros (UTFPR) murillo.vetroni@gmail.com
Fabio José Ceron Branco (UTFPR) fbranco@hotmail.com

Resumo:

O estudo de caso foi realizado com a aplicação do teste estatístico de Wilcoxon, em problemas de sequenciamento de tarefas em um ambiente fabril. Utilizou-se um gerador de banco de dados de 7500 problemas-testes aleatórios, e o compilador Dev Pascal, com heurísticas que solucionam problemas de programação de tarefas, com a minimização do tempo total da programação – *makespan* – e o tempo total de fluxo – *flowtime*. As heurísticas testadas são conhecidas da literatura específica deste problema: LPT, SPT, LPT-NEH, LPT-GREEDY para *makespan* e LPT, SPT, SPT-NEH, SPT-GREEDY no caso da minimização do *flowtime*. Desta forma, o objetivo do estudo de caso é realizar a análise do desempenho destes métodos para a minimização das funções-objetivo. O resultado é apresentado pela ferramenta de Wilcoxon através de gráficos, de forma que quando utilizado o *makespan*, LPT-NEH tem o melhor desempenho, e com *flowtime*, SPT-NEH.

Palavras chave: Wilcoxon, Números Aleatórios, *Scheduling*, *Makespan*, *Flowtime*.

Wilcoxon test applied in the evaluation of heuristics to the task scheduling problem on machines

Abstract

The case study was carried out with the application of statistical test of Wilcoxon task sequencing problems in a factory environment. We used a 7500 random-test problems database generator and Dev Pascal compiler with heuristics that solve the task scheduling problems the minimization of the total time of programming - *makespan* - and total flow time - *flowtime*. The tested heuristics are known from the literature of this problem: LPT, SPT, LPT-NEH, LPT-GREEDY for *makespan* and LPT, SPT, SPT-NEH, SPT-GREEDY if minimizing *flowtime*. Thus the purpose of the case study is to perform the analysis of the performance of these methods for minimizing functions-goal. The result is shown by the Wilcoxon tool through graphics so that when used *makespan* LPT-NEH has the best performance and *flowtime* SPT-NEH.

Key-words: Wilcoxon, Random Numbers, *Scheduling*, *Makespan*, *Flowtime*.

1. Introdução

O teste de Wilcoxon é empregado para comparar dois tratamentos por vez quando os dados são obtidos por um esquema de pareamento. Artigos e trabalhos nesse meio são inúmeros, de tal modo que várias áreas da pesquisa pode-se aplicar o teste, tais como, engenharia, matemática, ciência da computação, além de áreas da saúde que envolve medicina, biologia, odontologia e profissionais desse ramo de uma forma geral.

Através de busca na base de dados “Scopus”, pela palavra “Wilcoxon” encontram-se mais de 21 mil artigos mundiais relacionados com o tema. No Brasil, encontra-se pouco mais de mil artigos sobre Wilcoxon e a maioria deles estão relacionados com a área da saúde.

Desta forma, trabalhos voltados para o teste de Wilcoxon com a aplicação da metodologia *scheduling* (programação de tarefas em máquinas) ainda é pouco divulgado e conhecido no Brasil, visto que, nesse estudo a metodologia se aplica de maneira geral, podendo ser aplicado em outras áreas e, principalmente, num processo de tomada de decisão. Além disso, esta busca refinada por palavras como “*scheduling and makespan and flowtime*” ou “*makespan*

and flowtime and SPT and LPT” não se encontram trabalhos de cunho específico como esse estudo presente.

Portanto, o objetivo deste estudo de caso é analisar o desempenho das heurísticas com o teste de Wilcoxon. Além disso, é realizada a análise do comportamento entre os pontos obtidos desta ferramenta, tendência de comportamento, mostrando assim, que a análise pode ser aplicada em qualquer outra área da pesquisa que utilize o teste de Wilcoxon.

2. Metodologia

O teste de Wilcoxon é um método utilizado quando se deseja realizar uma tomada de decisão em relação a um conjunto de dados, através dessa estatística aplicada, podem-se gerar gráficos, resultando uma resposta visível, de fácil leitura e visualização. Neste estudo de caso todos os gráficos apresentarão um limite superior, um limite inferior e o chamado W Calculado (explicado a seguir).

O trabalho envolve uma série de termos específicos da área e da língua inglesa, que se define a seguir, como SPT (*shortest processing time*), que é a ordenação não-decrescente da soma dos tempos de processamento das tarefas. Outro método é definido pela LPT (*largest processing time*), em que o processo de ordenação é o oposto do SPT. NEH e GREEDY são procedimentos melhorativos das sequências SPT e LPT, difundidos na literatura, que os autores optaram por não detalhar neste trabalho, já que o foco é relatar a utilização da ferramenta estatística na tomada de decisão.

Quanto às funções-objetivo, *makespan* é o tempo total de processamento de todas as tarefas em todas as máquinas (sua minimização possibilita o uso eficiente da linha de produção e aumenta a confiabilidade nos prazos de entrega) e, o *flowtime* é a soma dos tempos de fluxo de todas as tarefas envolvidas no sequenciamento (sua minimização implica em redução de custos e estoques em processamento).

Algumas etapas devem ser adotadas para a construção do teste de Wilcoxon, primeiramente foi realizado a geração de dados por um Software gerador de dados, cujo programa escolhe aleatoriamente 7500 problemas-testes, armazenados em formato texto com o número de máquinas variando em 3, 6, 9, 12 e o número de tarefas em 10, 20, 30, ..., 150 para gerar as 75 combinações (tarefas x máquinas), com 100 problemas-testes cada.

As heurísticas foram processadas para os 7500 problemas-testes, com a utilização do compilador Dev Pascal 1.9.2, para os métodos LPT, SPT, LPT-NEH, LPT-GREEDY para *makespan* e LPT, SPT, SPT-NEH, SPT-GREEDY no caso do *flowtime*. Realizando todas as combinações possíveis de *makespan* resulta em 6 gráficos. Da mesma forma, é feito para *flowtime*, ou seja, 6 gráficos foram gerados, resultando, desta forma, um total de 12 gráficos a serem analisados.

Em uma planilha, com todos os dados em duas colunas paralelas, calcularam-se todas as diferenças entre cada par de números (coluna A – coluna B), ainda sem levar em consideração os sinais (positivo ou negativo) dos resultados. Depois, calculou-se a ordenação das diferenças, em módulo. Para finalizar, somaram-se estas ordenações, considerando os sinais das diferenças desprezadas anteriormente.

Como exemplo, a cada par tarefa x máquina, foram obtidos 100 resultados para duas heurísticas, conforme uma função-objetivo definida. Entre estas duas heurísticas, foram feitos 100 cálculos das diferenças, problema a problema. Neste grupo de 100 possibilidades, a menor diferença em módulo foi ordenada na primeira posição. A segunda menor, na segunda posição, até que a maior diferença seja colocada na 100ª posição. Estas 100 posições foram somadas, mas levando-se em consideração o sinal das diferenças descritas na primeira frase

deste parágrafo.

Em seguida classificaram-se os dados seguindo a função “ordem” no Excel. Adiante, foi inserida a função “se” no programa identificando os números positivos e negativos.

Além disso, foi estabelecido o chamado “W calculado” e o “W crítico”. O calculado foi realizado o somatório das classificações dos dados (valor variável de acordo com cada teste), já o crítico (W) foi obtido pela seguinte fórmula abaixo.

$$W = Z \cdot \sqrt{n(n+1)(2n+1)}$$

Fonte: Autores, adaptado da literatura

Formula 1 – Formula do teste de Wilcoxon “W crítico”

Onde:

W= valor referente ao “W crítico”

Z= número constante = 1,645

n= número de linhas representadas na tabela do Excel

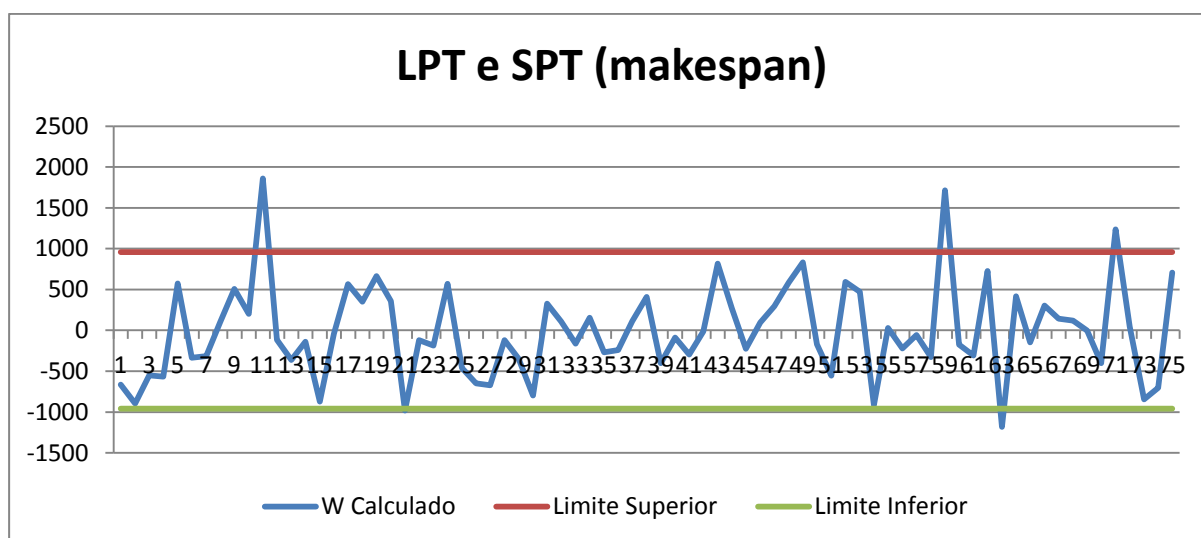
Para a formulação do estudo, foram utilizados 95% de confiança, com valor de Z = 1,645, além disso, os testes analisados utilizam n = 100 (tamanho da amostra para cada par tarefa x máquina).

Portanto, aplicando os valores na formula 1, o W crítico (W) representa um valor constante, resultando em 956,8613. Esse resultado nos informa o lado positivo do gráfico (ou limite superior) = +956,8613 e lado negativo do gráfico (ou limite inferior) = -956,8613.

Logo, o que vai se alterar em todos os gráficos é o valor de “W calculado”, que se obtém a partir do somatório das classificações dos dados, ou seja, o valor é variável de acordo com cada teste.

3. Resultados e Discussões

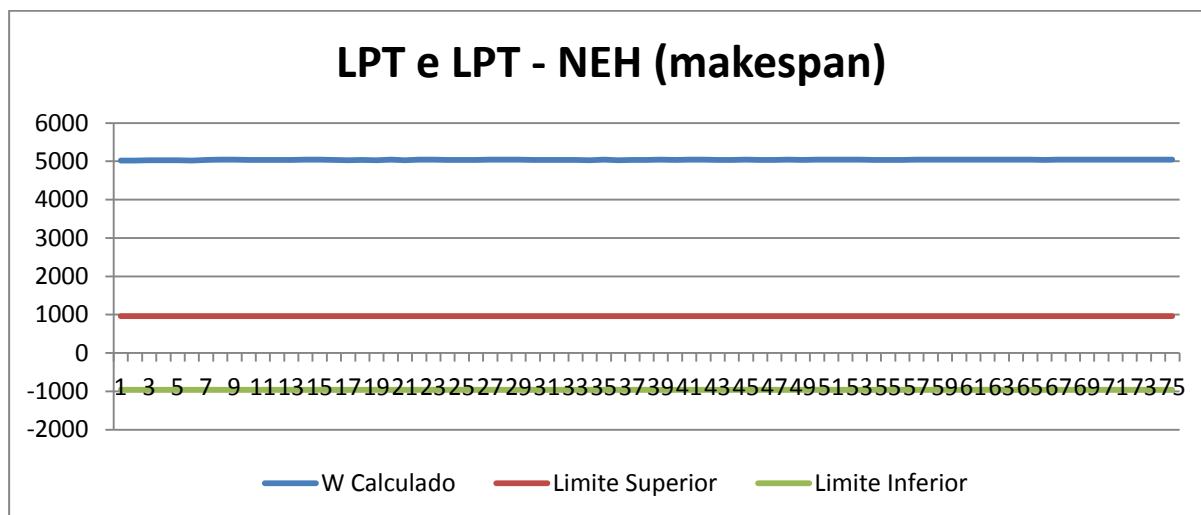
Nessa etapa são apresentados os 12 gráficos (6 para *makespan* e 6 para *flowtime*) gerados a partir do teste de Wilcoxon, juntamente com a análise e discussão. No eixo x estão representados os 75 pontos de cada par tarefa x máquina, e no eixo y o parâmetro de Wilcoxon calculado pela descrição anterior.



Fonte: Própria

Gráfico 1 - LPT e SPT (*makespan*)

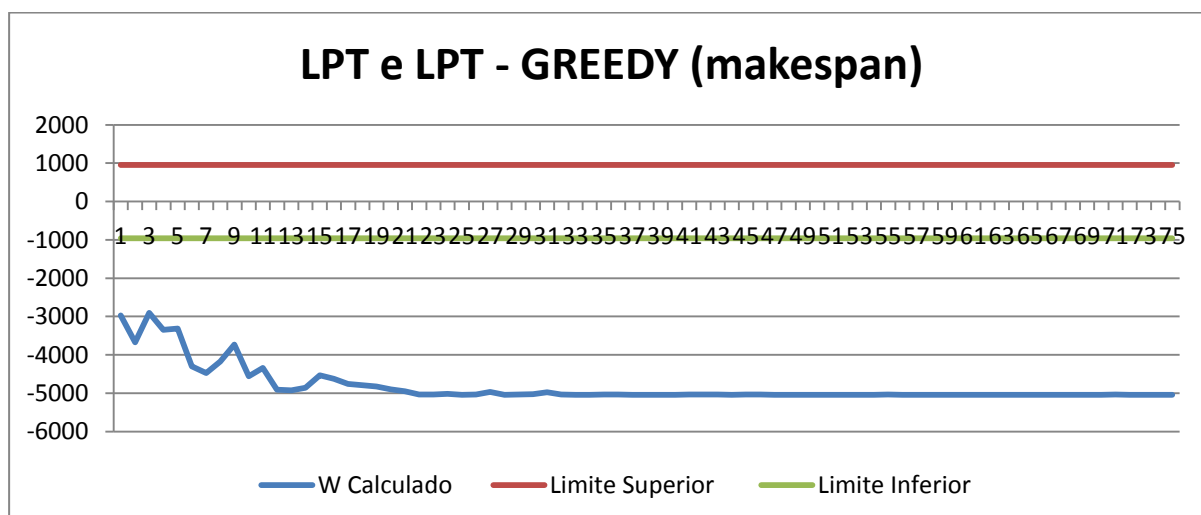
Observa-se que no gráfico 1 a grande maioria dos pontos estão entre as regiões dos valores de “W crítico”, ou seja, entre os limites. Entretanto, os pontos 11, 59 e 71 ficaram acima de 956,8613 mostrando que nesses três pontos o método SPT se desenvolve melhor que o LPT. Já o ponto 63 está abaixo do valor negativo de “W crítico”, mostrando que LPT se sobressai em relação ao SPT. Nos pontos 21 e 54 seus máximos estão exatamente sobre a linha do “W crítico”. Portanto, a maioria dos dados apresenta igualdade de desempenho, visto que estão entre os dois limites.



Fonte: Própria

Gráfico 2 – LPT e LPT- NEH (*makespan*)

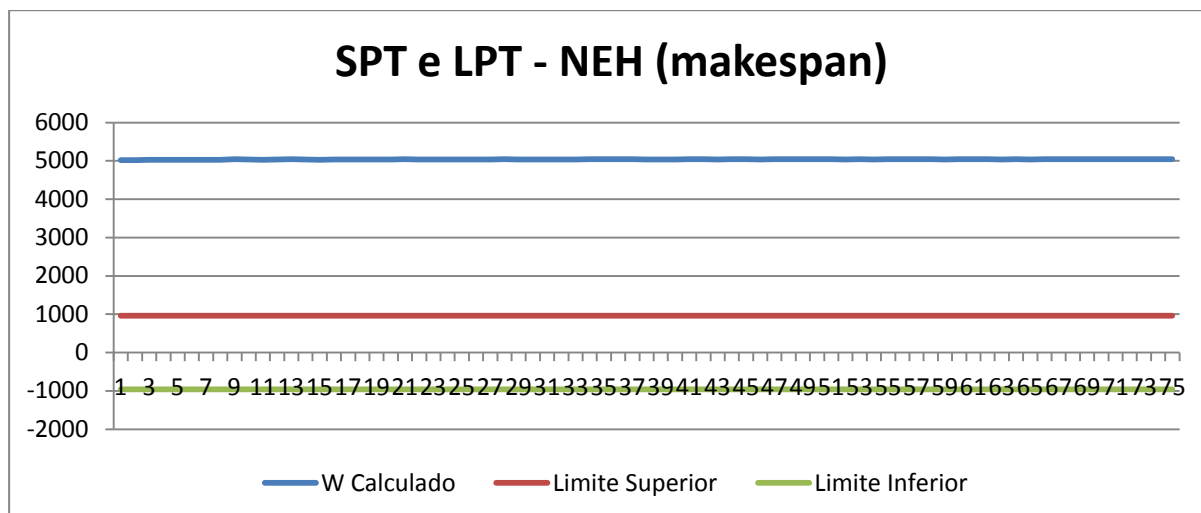
No gráfico 2, todos os pontos gerados ficaram acima do limite superior, mostrando que o método LPT - NEH é melhor que LPT, desta forma, o “W calculado” provou que para *makespan* o LPT - NEH obteve um desempenho menor que LPT.



Fonte: Própria

Gráfico 3 – LPT e LPT – GREEDY (*makespan*)

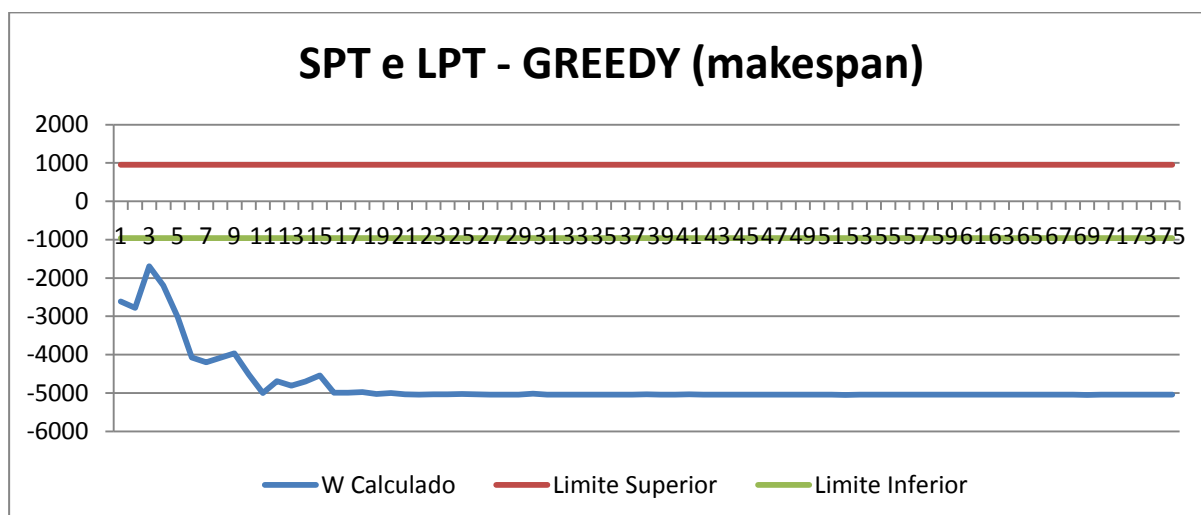
Observa-se no gráfico 3 que os primeiros pontos estão mais próximos do limite inferior, e logo adiante os pontos caem e se tornam constantes. Desta forma, o “W calculado” vai se distanciando do “W crítico” inferior. Conclui-se que o método LPT possui melhor desempenho que LPT - GREEDY.



Fonte: Própria

Gráfico 4 - SPT e LPT – NEH (*makespan*)

No gráfico 4, todos os pontos do “W calculado” foram lineares e acima do limite superior, ou seja, acima do “W crítico” positivo. Desta forma, o desempenho do LPT - NEH é superior ao do SPT.



Fonte: Própria

Gráfico 5 - SPT e LPT – GREEDY (*makespan*)

Analisa-se que os primeiros pontos do “W calculado” estão próximos do limite inferior, e que em seguida os pontos começam a decaírem, tornando-se constante a partir do ponto 16, segundo o gráfico 5. Desta forma, o “W calculado” vai se distanciando do “W crítico” inferior. Conclui-se que o método SPT possui melhor desempenho nesse caso.

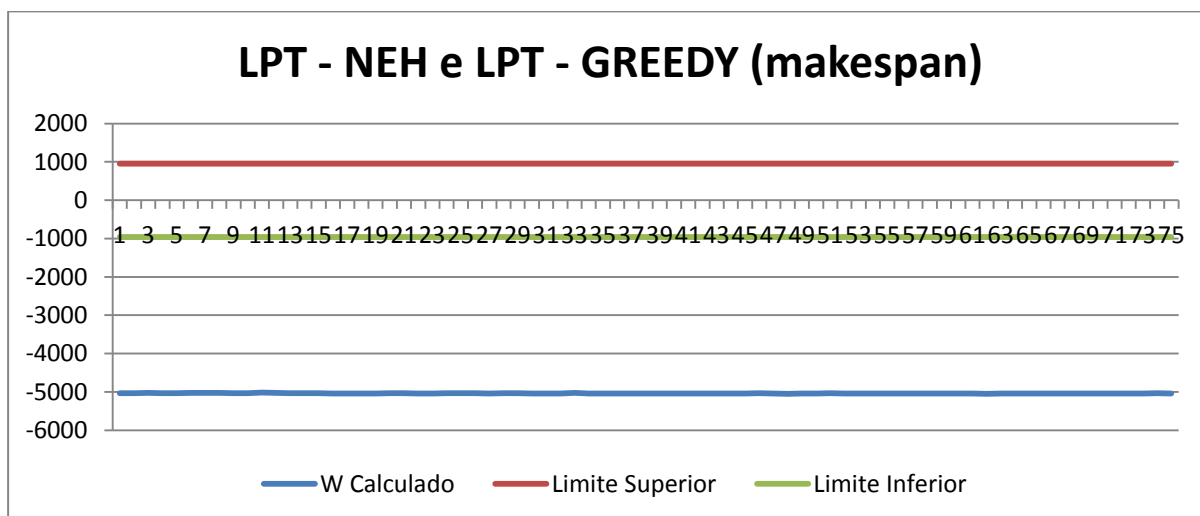


Gráfico 6 – LPT – NEH e LPT – GREEDY (*makespan*)

O gráfico 6, o último gráfico por *makespan*, o método de LPT-NEH se sobressaiu em relação ao LPT-GREEDY, pois, todos os pontos ficaram constantes e bem abaixo do “W crítico” inferior.

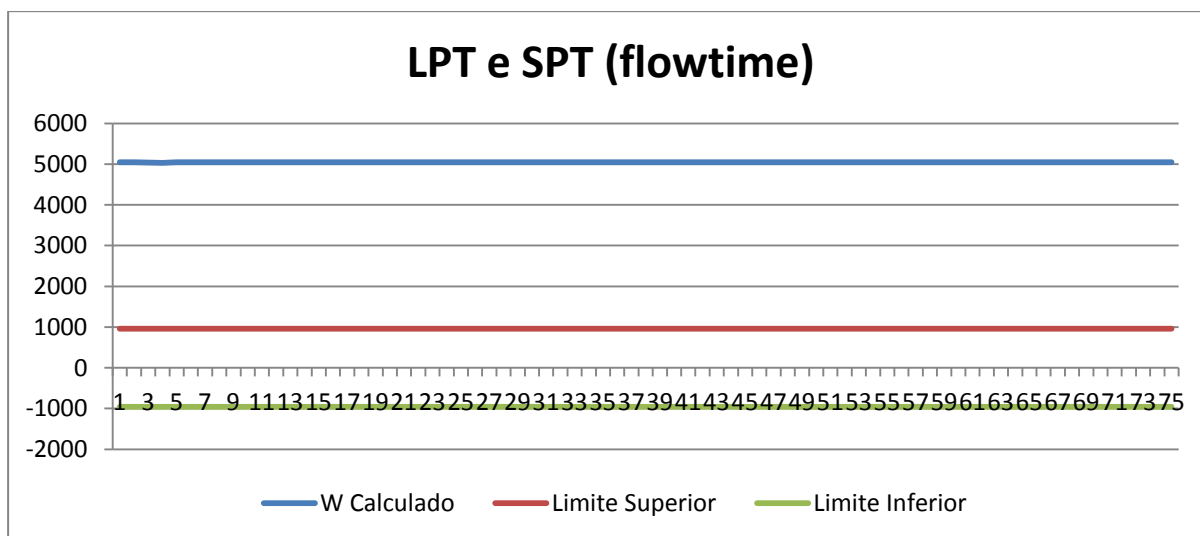
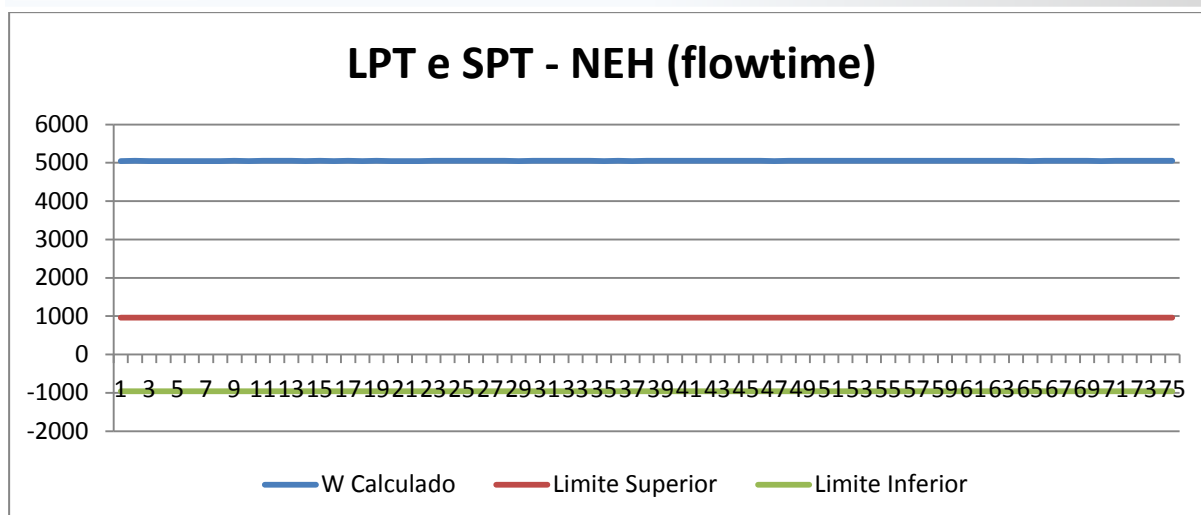


Gráfico 7 – LPT e SPT (*flowtime*)

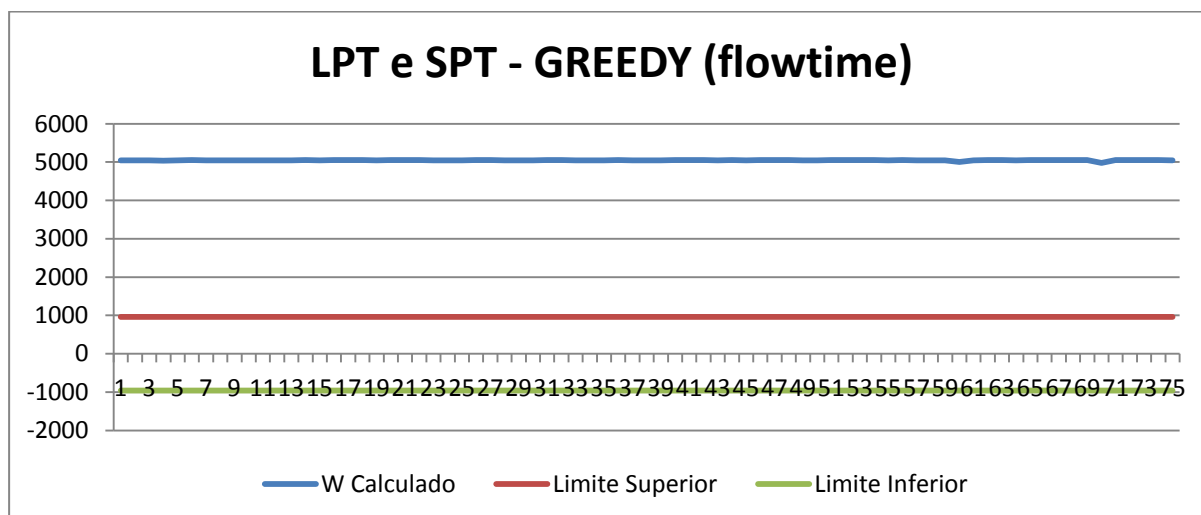
No primeiro gráfico por *flowtime*, o melhor desempenho fica com o método SPT, indicado com pontos sem nenhuma variação e acima do “W crítico” superior, segundo o gráfico 7.



Fonte: Própria

Gráfico 8 - LPT e SPT - NEH (flowtime)

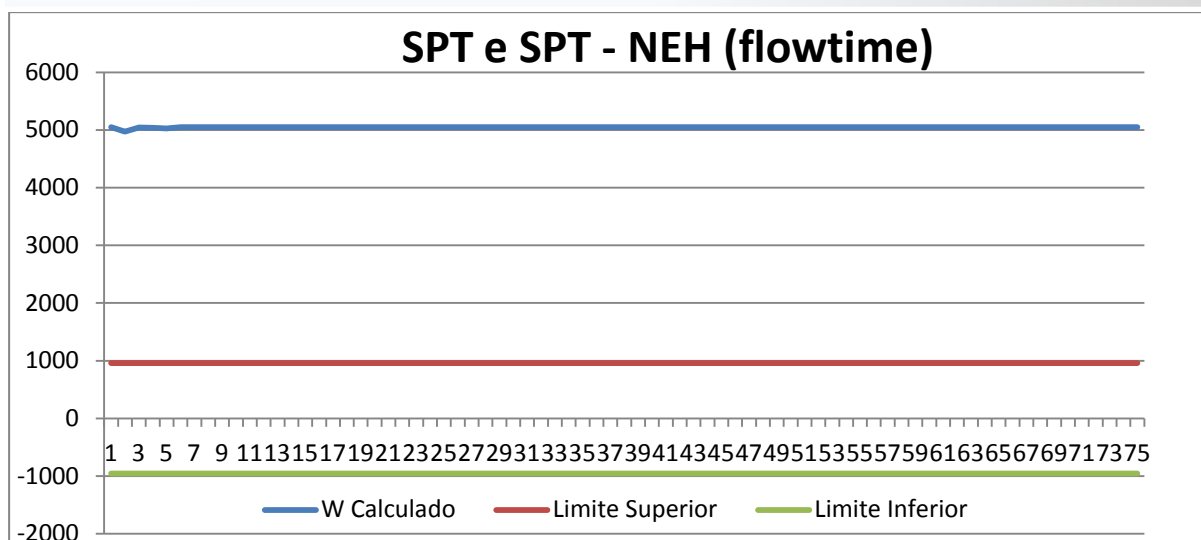
Da mesma forma, que o gráfico 7, no gráfico 8 o “W calculado” fica bem acima do limite superior, apresentando nenhuma variação. Logo, o melhor método nesse caso é o SPT-NEH.



Fonte: Própria

Gráfico 9 – LPT e SPT – GREEDY (flowtime)

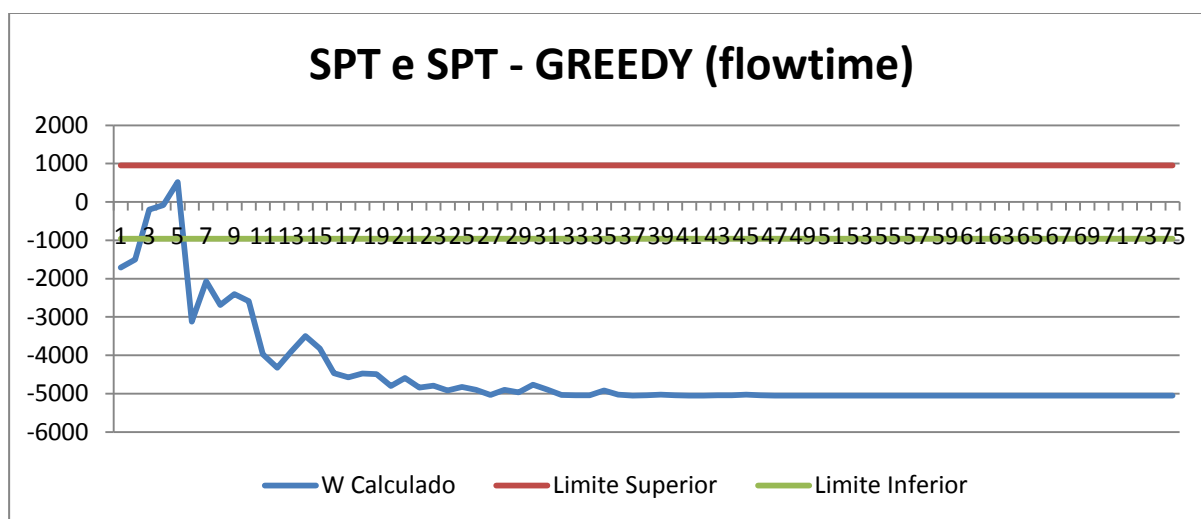
No gráfico 9, seu comportamento apresentou que o “W calculado” não sofreu nenhuma variação ao longo da análise, além de ficar visivelmente acima do limite superior, ou seja, acima do “W crítico”, logo o melhor desempenho ficou com SPT-GREEDY.



Fonte: Própria

Gráfico 10 – SPT e SPT - NEH (flowtime)

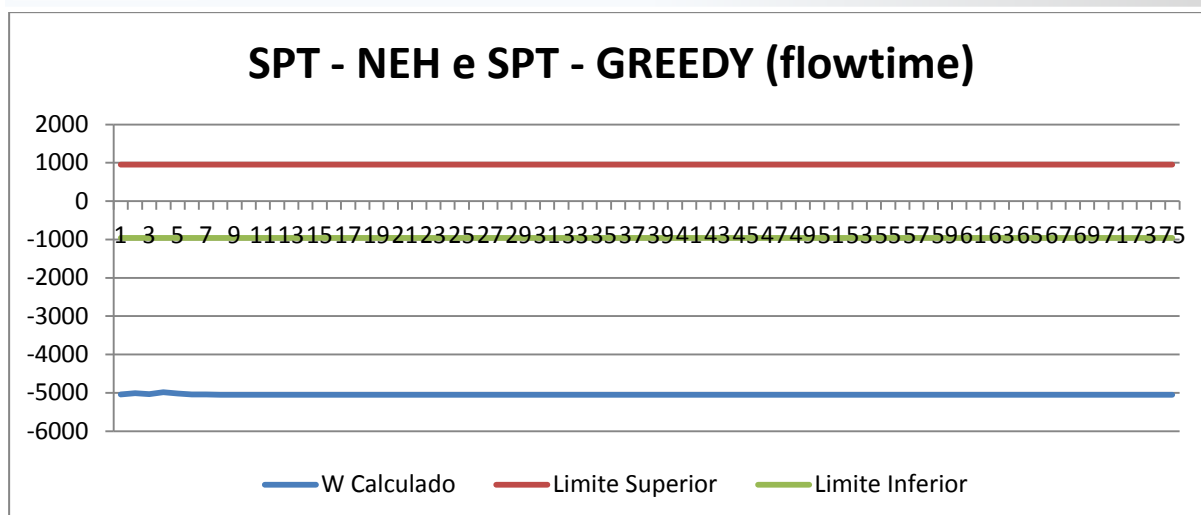
Nesse caso, no início, alguns pontos sofreram uma pequena variação, podendo ser considerados irrelevantes, pois a maioria dos pontos permaneceu constantes, segundo o gráfico 10, além de SPT-NEH apresentar um melhor desempenho relacionado ao SPT.



Fonte: Própria

Gráfico 11 – SPT e SPT - GREEDY (flowtime)

O gráfico 11 apresentou um comportamento pouco diferenciado comparado aos outros, pois a linha do “W calculado” inicia-se abaixo do limite inferior, em seguida se estabelece entre os dois limites, e posteriormente volta para a parte de baixo do gráfico permanecendo o decréscimo até o ponto 35 e em seguida torna-se linear. Observa-se, portanto, que o SPT é melhor que o SPT – GREEDY.



Fonte: Própria

Gráfico 12 – SPT - NEH e SPT - GREEDY (flowtime)

No último gráfico da análise, o “W calculado” permaneceu abaixo do limite inferior, mesmo com a pequena variação nos primeiros pontos. A linha do “W calculado” ficou constante e, portanto, SPT – NEH apresenta um desempenho melhor que SPT – GREEDY.

4. Conclusão

Observa-se que na análise, na qual se utiliza o *makespan*, o método LPT - NEH foi melhor em todas as comparações em que esteve envolvido, ou seja, seu desempenho foi de 100% dos casos de *makespan*, indicando apresentar um bom desempenho e qualidade de solução.

Já na análise para *flowtime*, o SPT – NEH desempenhou bom resultado nas três análises, ficando com 100%. O SPT – GREEDY seu desempenho em uma das análises foi considerável, ficando com uma média de 33%. Já o SPT ficou com 17%, interagindo 6 análises para *flowtime*.

O teste de Wilcoxon se aplica em métodos de tomada de decisão, necessário e crucial para um profissional da saúde, por exemplo, que trabalha com substâncias em quantidades precisas e exatas. Ademais, o presente trabalho pode contribuir com a divulgação do teste de Wilcoxon, visto que, ainda existem pouquíssimos trabalhos que envolvem a análise de heurísticas em problemas de sequenciamento no Brasil e no mundo.

Desta forma, observa-se a importância do estudo do teste de Wilcoxon, provando que a análise foi realizada de acordo com a metodologia pré-definida e que foi atingido o objetivo do estudo que é analisar o desempenho das heurísticas com o teste de Wilcoxon.

Referências

BAESLER, F.; GATICA, J.; CORREA, R. *Simulation Optimisation for Operating Room Scheduling*. Original Scientific Paper. Santiago, p. 215-226. jan. 2015. Disponível em: <http://www.ijssimm.com/Full_Papers/Fulltext2015/text14-2_215-226.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2016

N.A.. 3 - *Teste de Wilcoxon Pareado*. 2016. Não é citado o nome do autor. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/tecnicas-nao-parametricas/teste-de-wilcoxon-pareado>>. Acesso em: 25 ago. 2016.

PRADO, DÉBORAH IGREJA DO. *O foco é no cidadão e o atendente como fica?: Contexto de Atendimento Presencial, Custo Humano da Atividade e Qualidade de Vida no Trabalho*. 2006. 162 f. Dissertação (Mestrado)

- Curso de Psicologia, Departamento de Psicologia Social e do Trabalho – Pst, Universidade de Brasília, Brasília, 2006. Disponível em: <<http://www.ergopublic.com.br/arquivos/1360242922.51-arquivo.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2016.

STEVENSON, WILLIAM J. *Estatística Aplicada à Administração*. São Paulo: HARBRA, 1986.

VIALI, LORÍ. *Estatística não paramétrica*. Disponível em: <http://www.pucrs.br/famat/viali/graduacao/producao/inferencia/material/apostilas/Testes_NP.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2016.