



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

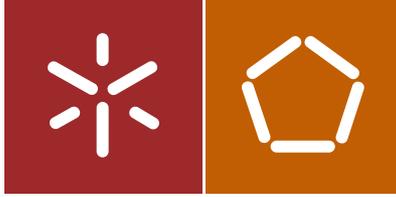
Gualter Hernâni Jesus Sousa

O Escalonamento da Produção
Direcionado à Preparação de Veículos de
uma Empresa de Competição Automóvel

Nome do Autor da Tese O Escalonamento da Produção Direcionado à Preparação de Veículos de uma Empresa de Competição Automóvel

UMinho | 2014

Outubro de 2014



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Gualter Hernâni Jesus Sousa

O Escalonamento da Produção
Direcionado à Preparação de Veículos de
uma Empresa de Competição Automóvel

Dissertação de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação da
Professora Doutora Maria Leonilde Rocha Varela

DECLARAÇÃO

Nome

Gualter Hernâni de Jesus Sousa

Endereço electrónico

a58973@alunos.uminho.pt

Número do Bilhete de Identidade

13815278

Título da dissertação

O Escalonamento da Produção Direcionado à Preparação de Veículos de uma Empresa de Competição Automóvel

Orientador(es)

Maria Leonilde Varela

Ano de conclusão

2014

Designação do Mestrado Integrado

Mestrado Integrado em Engenharia e Gestão Industrial

É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA DISSERTAÇÃO APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO, MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO, QUE A TAL SE COMPROMETE;

Universidade do Minho, ___/___/_____

Assinatura:

AGRADECIMENTOS

De forma mais ou menos direta, muitos tiveram influência ao longo deste trabalho:

- Um grande obrigado aos meus pais que sempre me deram tudo
- A minha irmã por ser um exemplo a seguir
- Aos meus avós por tudo aquilo que são
- Aos amigos por momentos espontâneos de criatividade e diversão
- À Comval Racing por ter sido mais que um trabalho
- À Dra. Leonilde Varela por toda a orientação
- E a todos que se cruzaram para bons momentos.

Um grande obrigado a todos e espero, um dia, poder também de alguma forma contribuir por tudo o que fazem.

RESUMO

Numa equipa de competição automóvel, o tempo é algo muito valioso, dada a imprevisibilidade do que poderá ocorrer em provas. Acidentes entre veículos é algo vulgar nesta atividade e a necessidade de reparar ou simplesmente rever os carros entre provas leva a uma obrigatoriedade de otimização de um tempo, geralmente escasso.

Dado que não se pode alterar a data das provas e dada a ausência de uma delas devido a, por exemplo, atrasos na manutenção dos veículos, levar a elevados problemas financeiros, todo o processo de revisão deve ser efetuado no menor tempo possível.

Assim, o objetivo desta dissertação será definir um escalonamento das atividades de forma a que não haja falhas na conclusão das tarefas. Para isso, foram considerados o makespan (F_{max} ou C_{max}) e o tempo de percurso total (F_{total}) como medidas de desempenho principais, para avaliação do desempenho do sistema de produção em causa, para levar a cabo as tarefas de verificação e manutenção dos carros para as competições planeadas. Isto deverá ser feito através da aplicação de métodos ou algoritmos heurísticos de escalonamento da produção, como o método de General SB Routine, (GSBR), disponível através do sistema de escalonamento de acesso gratuito, Legin e a regra de prioridade *Longest Processing Time* (LPT), de forma a tentar chegar a bons resultados para a programação das tarefas de preparação dos carros para as corridas planeadas na empresa *Comval Racing*, em que este trabalho decorreu.

PALAVRAS-CHAVE

Escalonamento da produção; Máquinas Paralelas; Escalonamento da Produção; Tempo de percurso máximo e tempo de percurso total; Métodos Heurísticos; Preparação de carros.

ABSTRACT

On a motorsport team, time is something really precious, considering the unpredictability of what could happen at races. Car crashes are usual in this activity and the requirement for a fast repair or a simply review of the cars between races, leads to the obligation of time optimization, generally scarce.

Since you cannot change races dates and considering that the absence of one of them for reasons as delays on the cars maintenance, leads towards high financial problems, all the maintenance process should be done on the fewest time possible.

Considering the previous paragraph, this dissertation goal should be define the activities scheduling, so that there are no failures on tasks conclusions. To do it, were considered the makespan (F_{\max} or C_{\max}) and the total flow time (F_{total}) as the main performance measures, to evaluate the production system performance considered, in order to finish the car maintenance and verification tasks to the races planned. This should be done through the application of methods or heuristic algorithms of production scheduling, as the General SB Routine method (GSBR), available as a freeware for scheduling systems, Lakin, and the priority rule Longest Processing Time (LPT) in order to develop good results for the cars preparation tasks scheduling, to the races planned at the enterprise Comval Racing, where this work succeeded.

KEYWORDS

Production Scheduling; Parallel Machines; Total Flow and Maximum Flow Time; Heuristic Methods; Cars Preparation.

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vii
Índice.....	ix
Índice de Figuras.....	xiii
Índice de Tabelas.....	xv
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	xvii
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Estrutura do documento.....	2
1.3 Motivação.....	3
1.4 Objetivo.....	4
1.5 Metodologia de Investigação.....	4
2. Apresentação da Empresa.....	7
2.1 História da <i>Comval Racing</i>	7
2.2 Organização da Empresa.....	8
2.3 Gestão de Material.....	11
3. Fundamentos de Escalonamento da Produção – Máquinas Paralelas.....	13
3.1 Introdução.....	13
3.2 Sistemas de produção de máquinas ou processadores paralelos.....	13
3.2.1 Tipos de planeamento.....	14
3.2.2 Sistemas ou ambientes de produção.....	15
3.2.3 Sistemas de processadores únicos e paralelos.....	16
3.3 Caraterísticas dos problemas de escalonamento de produção em máquinas paralelas.....	19
3.4 Medidas de desempenho.....	20
3.4.1 <i>Makespan</i>	21
3.4.2 Tempo Total de Produção.....	22
3.4.3 Capacidade.....	23
3.4.4 Utilização.....	23
3.4.5 <i>Work in Process</i>	24

3.4.6	Transporte	24
3.4.7	Outros.....	25
3.5	Métodos ou Algoritmos de Escalonamento da Produção	25
3.5.1	Regra LPT	25
3.5.2	Regra SPT	26
3.5.3	Algoritmo de <i>Kedia</i>	26
3.5.4	Método GSBR.....	27
3.5.5	Outros.....	27
3.6	Sistemas de Apoio ao Escalonamento da Produção	28
3.6.1	Sistemas tradicionais.....	28
3.6.2	Sistemas <i>Web</i>	31
4.	Caso de Estudo	35
4.1	Introdução	35
4.2	Descrição do Problema	35
4.3	Abordagem à Metodologia Proposta	39
4.4	Aplicação dos Métodos.....	46
4.4.1	Aplicação da regra SPT.....	47
4.4.2	Aplicação da regra LPT	47
4.4.3	Aplicação do GSBR.....	48
4.4.4	Generalização do caso de estudo	49
4.5	Análise de Resultados.....	50
5.	Conclusão	55
	Referências Bibliográficas	57
6.	Anexos.....	61
6.1	Anexo I – Checklist de manutenção	61
6.2	Anexo II – Tempos de manutenção	63
6.3	Anexo III – Formulação de hipóteses.....	71
6.4	Anexo IV – Resultados dos tempos de manutenção para cada hipótese	72
6.5	Anexo V – Resultados obtidos para as medidas de desempenho por método.....	73
6.6	Anexo VI – Estatística descritiva obtida com o uso do SPSS	74
6.7	Anexo VII – Análise de inferência estatística obtida com o uso do SPSS	78

6.8	Anexo VIII – Histograma de resultados para o <i>makespan</i>	82
6.9	Anexo IX - Histograma de resultados para o tempo total de produção.....	83
6.10	Anexo X – Diferença percentual entre resultados obtidos pela aplicação dos métodos	
	84	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Representação hierárquica da empresa	8
Figura 2: Alocação dos trabalhadores por grupo funcional	9
Figura 3: Fluxograma geral de atividades	10
Figura 4: Exemplo de fluxograma particular	10
Figura 5: Amostra da organização de materiais após aplicação do 5 sigma	11
Figura 6: Sistema de processador único	16
Figura 7: Sistema de processadores paralelos	17
Figura 8: Tipos de processadores paralelos.....	18
Figura 9: Imagem exemplificativa do trabalho de equipa em provas	37
Figura 10: Excerto da folha de manutenção para o Formula Ford.....	38
Figura 11: Diagrama representativo da analogia entre conceitos da industria de produção e os empregues para a equipa de competição	39
Figura 12: Três etapas iniciais para introdução de dados no <i>Lekin</i>	45
Figura 13: Exemplo de como seleccionar o método a aplicar no <i>Lekin</i>	45
Figura 14: Janela de resultados no <i>Lekin</i>	46
Figura 15: Gráfico de <i>Gantt</i> obtido pela aplicação do método SPT	47
Figura 16: Gráfico de <i>Gantt</i> obtido pela aplicação do método LPT	48
Figura 17: Gráfico de <i>Gantt</i> obtido pela aplicação do método GSBR, considerando o <i>makespan</i>	48
Figura 18: Gráfico de <i>Gantt</i> obtido pela aplicação do método GSBR, considerando o tempo total de produção	48
Figura 19: Histograma representativo dos resultados obtidos pela aplicação dos três métodos, para o <i>makespan</i>	51
Figura 20: Histograma representativo dos resultados obtidos pela aplicação dos três métodos para o tempo total de produção	52

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Excerto dos tempos de manutenção registados por carro.....	40
Tabela 2: Amostra do agrupamento de tarefas e respetiva soma de tempos.....	41
Tabela 3: Hipóteses formuladas	43
Tabela 4: Matriz de cálculo dos tempos totais por hipótese formulada	44
Tabela 5: Tempos totais obtidos por grupo para cada hipótese formulada	44
Tabela 6: Matriz de cálculo dos tempos de manutenção totais para o problema 7	47
Tabela 7: Resultados obtidos para as medidas de desempenho, através da aplicação dos três métodos	49

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

CR – *Comval Racing*

EDD - *Earliest Due Date first;*

EP – Escalonamento da Produção;

FF – *Formula Ford;*

GSBR – *General Shifting Bottleneck Routine*

J – *Juno;*

LPT – *Longest Processing Time first;*

MD – Medidas de Desempenho;

MP – Máquinas Paralelas;

SPSS – Statistical Package for the Social Sciences;

SPT – *Shortest Processing Time first;*

W – *Westfield.*

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentados, de forma resumida, os temas tratados nesta dissertação de mestrado, sendo para isso feita uma breve introdução à teoria abrangida por este trabalho. Deste modo, segue abaixo uma pequena explicação do contexto em que se insere o caso de estudo abordado, no mundo de trabalho real, bem como as principais motivações, objetivos, e a estrutura organizacional deste trabalho.

1.1 Enquadramento

Toda e qualquer atividade que envolva compromisso com fornecedores e clientes obriga a um planeamento das atividades de forma a que tudo seja feito dentro das datas acordadas, sem comprometer outras ações futuras. Isto implica que hajam agentes responsáveis por analisar o que já foi feito e o que ainda falta fazer, de forma a que tudo seja realizado a tempo e dentro dos parâmetros de qualidade pretendidos.

O problema em causa é o facto das empresas normalmente se basearem apenas em abordagens empíricas simplistas, onde objetivam a redução de custos e ordenam prioridades de trabalho, mas que normalmente não conseguem dar resposta adequada aos desafios e aspirações das empresas, quer de manufatura quer de prestação de serviços. Isto deve-se ao facto de existir ainda alguma falta de conhecimento sobre a existência de métodos científicos ou, aquando da existência deste mesmo conhecimento, da dificuldade de implementação e utilização prática dos mesmos. Assim, o uso apropriado de matérias-primas, materiais e mão de obra, entre outros recursos ou fatores de produção, depende da sua utilização eficaz e eficiente no tempo e sendo relevante obter-se um escalonamento adequado das tarefas de uma empresa nos correspondentes recursos de produção disponíveis para o efeito (Varela, 2007).

O escalonamento de produção (EP) é um tema fulcral da gestão da produção (Pinedo, 2012). Este é influenciado por uma série de variáveis e condicionantes que afetam o desempenho de um sistema de produção. Um alto número de possibilidades para fazer o escalonamento e planeamento de atividades torna esta tarefa um problema de combinações bastante complexo. De forma a reduzir esta complexidade, os planeadores tendem a reduzir o número de variáveis, o que pode levar à criação de um modelo simplista e não otimizado (MacCarthy e Wilson, 2001).

Todo o planeamento e agendamento numa empresa deveria assentar em técnicas matemáticas e métodos heurísticos de forma a alocar um número limitado de recursos às atividades que são necessárias realizar. Tal alocação de recursos deve ser feita de forma a que a empresa optimize, ou pelo menos consiga encontrar boas soluções para os seus objetivos e alcance o que é pretendido no planeamento da sua empresa (Pinedo, 2012).

A dificuldade anteriormente referida deve e pode ser então contornada recorrendo a métodos, quer otimizantes quer baseados em heurísticas mais simples, tanto em termos de compreensão como de implementação, onde todos os intervenientes possam assimilar e aplicar técnicas que levem à otimização de recursos de produção, bem como à redução de custos e de tempos, entre outros fatores.

1.2 Estrutura do documento

Este trabalho está dividido em 5 capítulos, sendo que o terceiro e quarto são aqueles onde está presente a informação que oferece valor acrescentado a esta dissertação.

No primeiro capítulo, como já foi possível observar, é feita uma pequena introdução ao que será feito ao longo do trabalho, apresentadas as motivações que levaram à realização desta dissertação, exposto o objetivo e finalmente feita uma pequena revisão de trabalhos que se possam assemelhar, de alguma forma, ao trabalho desenvolvido e aqui apresentado.

No segundo capítulo é apresentada a empresa que possibilitou a realização deste trabalho, onde são expostas todas as suas características principais, para uma melhor compreensão deste trabalho.

O terceiro capítulo vem responder às perguntas “o quê?” e “como?”. Aqui, é feito um levantamento sobre vários ambientes de produção, sendo expostas as suas características, referidos métodos de escalonamento e medidas de desempenho (MD). Neste capítulo, pretende-se, por isso, abordar diversos conceitos e abordagens de EP.

No quarto capítulo expõe-se uma análise prática do caso de estudo considerado neste trabalho, para responder às perguntas “porquê?” e “como?”. Aqui, é explorado o problema presente, de forma a alcançar o objetivo proposto, através da abordagem dada ao problema de máquinas paralelas, com a utilização de métodos de EP e das medidas de desempenho consideradas mais relevantes para o problema tratado.

Finalmente, no quinto capítulo, é feita uma breve apreciação sobre todo o trabalho desenvolvido e retiradas as devidas ilações.

1.3 Motivação

Conforme foi dito acima, a forma como a empresa faz o escalonamento da sua produção deverá ter um impacto bastante significativo no seu desempenho, bem como no seu sucesso e competitividade em geral, relativamente a outras empresas que se encontrem no mesmo ramo e sejam considerados concorrentes. Existe portanto a necessidade de avaliar a capacidade e estado da empresa e perceber de que forma a empresa poderá dar uma resposta adequada ao devido escalonamento da produção, tendo sempre em conta a sua dimensão e as suas aspirações futuras de crescimento.

O problema do escalonamento de produção é um tema já amplamente estudado e conhecido pela comunidade científica. No entanto, é ainda complicado para as empresas aplicarem métodos de escalonamento da produção, muitas vezes pela dificuldade que apresentam, quando confrontados em problemas reais ou, por vezes, pela necessidade de desenvolver modelos capazes de dar uma resposta rápida e eficaz a todas as entidades a programar numa empresa, que de alguma forma têm influência no sistema de produção visado, considerando o rigor de satisfação de compromissos definidos numa empresa.

Outra adversidade ocorre, tipicamente, quando as empresas até sabem como encontrar uma solução ótima para um dado problema, através do uso de um sistema avançado de produção, centralizado e focado no escalonamento, apto a resolver qualquer tipo de problema de otimização ou escalonamento, quer estática, quer dinâmico, mas ao qual está associado um custo elevado, o qual as empresas não tem disponibilidade financeira para puderem adquirir.

É por isso essencial criar um foco nas necessidades específicas da empresa, de forma a conseguir dispor de um sistema capaz de resolver os seus problemas de escalonamento e responder de forma eficiente às suas necessidades, dentro das possibilidades de cada uma, indo de encontro à dimensão da mesma.

A motivação para este trabalho surge, por isso, no intuito de colmatar uma falha existente na empresa *Comval Racing*, associada à inexistência de um sistema de apoio ao escalonamento da produção para a calendarização, o melhor possível, das suas tarefas de preparação de carros de competição. Dado ser uma empresa de competição automóvel, onde a imprevisibilidade e acumulação de tarefas antes de provas são uma realidade constante, torna-se então imprescindível o uso de uma abordagem que assegure o máximo de eficácia e eficiência, no que a tempo diz respeito, de forma a que atrasos imprevistos e respetivas consequências surjam o menos possível.

1.4 Objetivo

O tempo de ação muitas vezes escasso a que a equipa de competição automóvel está sujeita entre provas, obriga a que tudo seja feito de forma rápida e eficaz. O uso de uma *checklist* para executar o trabalho de manutenção dos carros assegura a realização de todas as tarefas, de forma a que os trabalhadores não deixem nenhuma por fazer. No entanto, esta checklist não define nenhuma ordenação ótima, de forma a que todas as tarefas sejam concluídas no menor tempo possível.

A aplicação de métodos de escalonamento de produção leva a uma otimização na ordenação das tarefas, considerando os resultados obtidos numa determinada medida de desempenho.

Assim, o objetivo desta dissertação será avaliar a performance de certas medidas de desempenho elegidas, através da aplicação de métodos de escalonamento de produção selecionados previamente. A análise do resultados, através dos valores obtidos, deverá levar à preferência de um determinado método comparativamente aos restantes.

1.5 Metodologia de Investigação

Nesta dissertação é utilizada a metodologia de investigação baseada em caso de estudo, que possibilita uma melhor compreensão de todo o processo em análise, pois permite passar por três perguntas básicas que levam a um entendimento total do problema, sendo estas “o quê?”, “porquê?”, e “como?” (Saunders, Lewis, & Thomhill, 2009).

Para isso foi realizada uma revisão da literatura com base em teses, artigos e outros tipos de material de apoio científico, onde foram encontradas informações relevantes para o tema tratado e de entre uma infinidade de trabalhos disponíveis nesta área, foi dado destaque a um conjunto de publicações que se sumariam a seguir.

Uma primeira menção para o livro “*Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems*”, da autoria de M. Pinedo, em 2012. Esta obra é considerada uma referencia para trabalhos relacionados com o escalonamento da produção, dado que o seu autor é um dos nomes mais influentes nesta temática. Esta obra aborda o escalonamento e sequenciação como uma forma de tomada de decisões que tem um papel crucial em indústrias de produção e serviços. Num ambiente atual competitivo, o escalonamento tem um papel essencial para as empresas sobreviverem no mercado competitivo global em que atualmente se inserem. Este livro aborda modelos determinísticos e estocásticos, assim como as suas aplicações em casos reais.

Importante foi também a dissertação de doutoramento realizada por M. Varela, em 2007, com o tema “Uma Contribuição para o Escalonamento da Produção baseado em Métodos Globalmente Distribuídos”. Este trabalho pretende facilitar a compreensão de problemas relacionados com escalonamento da produção, melhorando o seu processo, apresentando contribuições tanto a nível teórico como prático. Ao nível conceptual, contribui com uma panóplia de problemas de escalonamento da produção e conceitos intrínsecos, tais como o seu ambiente, tarefas, métodos de resolução, etc.. Faz ainda um estudo alargado sob a forma de resolução de problemas.

No *International Journal of Production Economics*, foi considerado relevante o artigo “*Multiple part-type scheduling in flexible robotic cells*”, realizado por G. Batur, O. Karasan e M. Akturk, em 2012. Este aborda um problema de escalonamento sobre células de manufatura, com duas máquinas, que produzem um conjunto de peças, no qual o transporte das peças entre máquinas é feito por um robot. O tempo de ciclo depende na sequência de movimento deste, assim como o tempo de processamento das peças nas máquinas. Este estudo pretende decifrar a sequência de movimentos e os tempos de processamento das peças nas máquinas, de forma a minimizar o tempo de ciclo. É construído um algoritmo heurístico para comparação com a abordagem heurística associada à regra LPT.

Um artigo muito interessante para análise do *makespan*, tem o título “*Single-machine scheduling with periodic maintenance to minimize makespan*”, da autoria de T. Cheng, M. Ji, e Y. He, lançado em 2007. Este considera um problema de escalonamento de atividades em máquinas com manutenção periódica. Neste estudo são consideradas várias ações de manutenção, onde cada uma é definida depois de um certo intervalo de tempo. O objetivo consiste em encontrar um escalonamento que minimize o *makespan*.

2. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

2.1 História da *Comval Racing*

A *Comval Racing*, uma Empresa de competição do ramo automóvel e escola de formação deste mesmo ramo, foi fundada em 2007, tendo iniciado neste ano o seu percurso que apesar de ainda pequeno em tempo, conta já com um historial invejável considerando todas as suas conquistas e palmarés. Neste ano, tendo em seu poder um único veículo, o *Juno SSE CN*, a equipa entrou em competição onde alcançou de imediato a vitória em duas das quatro corridas em que participou. No ano seguinte a equipa contou com o apoio de mais dois colaboradores, tendo o registo impressionante de quinze vitórias nas quinze corridas em que participou. Esta senda vitoriosa deu continuidade no ano seguinte, conquistando nove vitórias em igual número de corridas. A partir de 2009, novamente apenas com dois colaboradores, a equipa decidiu colocar um interregno nas competições e, na posse de dois *Westfield Sport FW1600*, inaugurou a primeira escola de formação de pilotos de drift, velocidade e rally da península ibérica e uma das ainda poucas a nível europeu. Em 2013 a equipa voltou a participar em competições, aumentando o seu registo de vitórias.

No final do ano 2013 foi consumado um investimento considerável, onde a *Comval Racing* assentou todos os seus recursos e equipamentos na zona de Matosinhos, tendo em sua posse estruturas que possibilitem um trabalho funcional diário satisfatório. Neste momento a empresa conta com 6 colaboradores que tratam da gestão de todas as atividades, escola, competição e eventos, mais 2 operadores para concerto, manutenção e assistência em provas dos veículos usados. Para os dias de prova, conta ainda com uma equipa de pessoal externo que varia consoante o número de veículos presentes.

Atualmente, é possível encontrar nas instalações da *Comval Racing* veículos como *Formula Ford*, para além do *Juno* e *Westfield*. Dado o prestígio alcançado pela marca, existem vários clientes que confiam este tipo de carros que têm em sua posse para a empresa realizar a sua manutenção, objetivando a excelência deste tipo de serviços. É ainda importante referir que a *Comval Racing* é neste momento representante oficial da *Westfield* em Portugal e da *Juno* na Península Ibérica.

2.2 Organização da Empresa

Dado tratar-se de um projeto recente, era inevitável alguma desorganização na empresa. Apesar de todos saberem a quem responder e o que fazer, não existia qualquer estrutura delineando qual o fluxo que a informação deveria seguir. Onde seria armazenada a informação, em que fases do processo deveriam ser arquivados documentos, ou simplesmente quem está hierarquicamente acima, eram questões já respondidas mas não claras e documentadas.

Foram criados um organograma estrutural, figura 1, e um departamental, figura 2, de modo a saber, no primeiro caso, quem está no topo da hierarquia e a quem deveriam responder diretamente, e no segundo caso quem ocupa as funções delegadas a cada departamento.



Figura 1: Representação hierárquica da empresa

Estrutura Organizacional

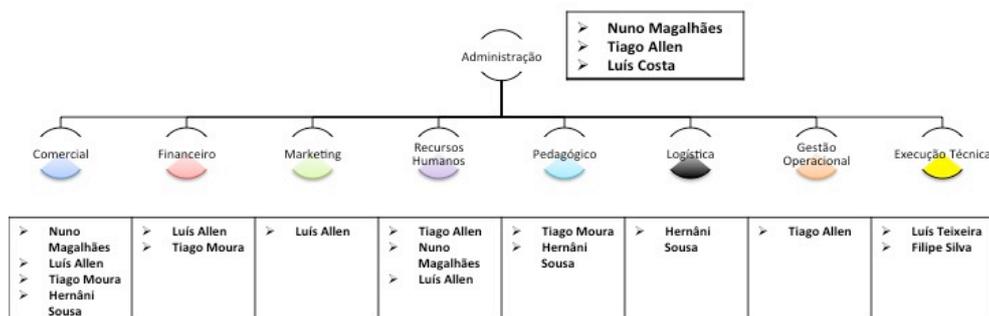


Figura 2: Alocação dos trabalhadores por grupo funcional

Foi ainda definido todo o fluxo de informação referente a cada atividade envolvente à empresa. Tal processo era essencial dado existirem muitas vezes perdas de informação e documentação por não haver um processo de fluxo de informação bem definido e estruturado. Esta ação foi particularmente difícil uma vez que, apesar de não ser uma macro empresa, a representação geral de todos os processos e atividades detalhados num só fluxograma não teria uma dimensão assim tão pequena. Esta mesma dimensão a nível de recursos humanos provoca uma obrigatoriedade *multitask* óbvia, em que a mesma pessoa tem de realizar funções referentes a processos e departamentos diferentes, ou seja, na fase inicial, aquando da interpretação e recolha de informação referente a todos os processos e atividades, verificou-se que os intervenientes dos processos muitas vezes participam em várias fases do mesmo o que dificultou a sua representação. Outro problema foi conseguir saber detalhadamente todas as atividades possíveis sem ver realmente a sua ação, algo que só foi possível de visualizar ao longo do estágio, dado tal fluxograma ter sido realizado em altura de chuva, época em que não há grande fluência de atividades pois algumas destas não poderem ainda ser realizadas neste tipo de condições climáticas.

A figura abaixo representada (figura 3) mostra o fluxograma geral de todas as atividades envolventes à empresa. Com isto é possível a qualquer agente externo perceber tudo que pode acontecer na empresa a nível de prestação de serviços, satisfazer necessidades de material, contacto com fornecedores e angariação de clientes. Ajuda também novos possíveis colaboradores a entenderem mais facilmente, de forma teórica, qual o processo que cada atividade segue.

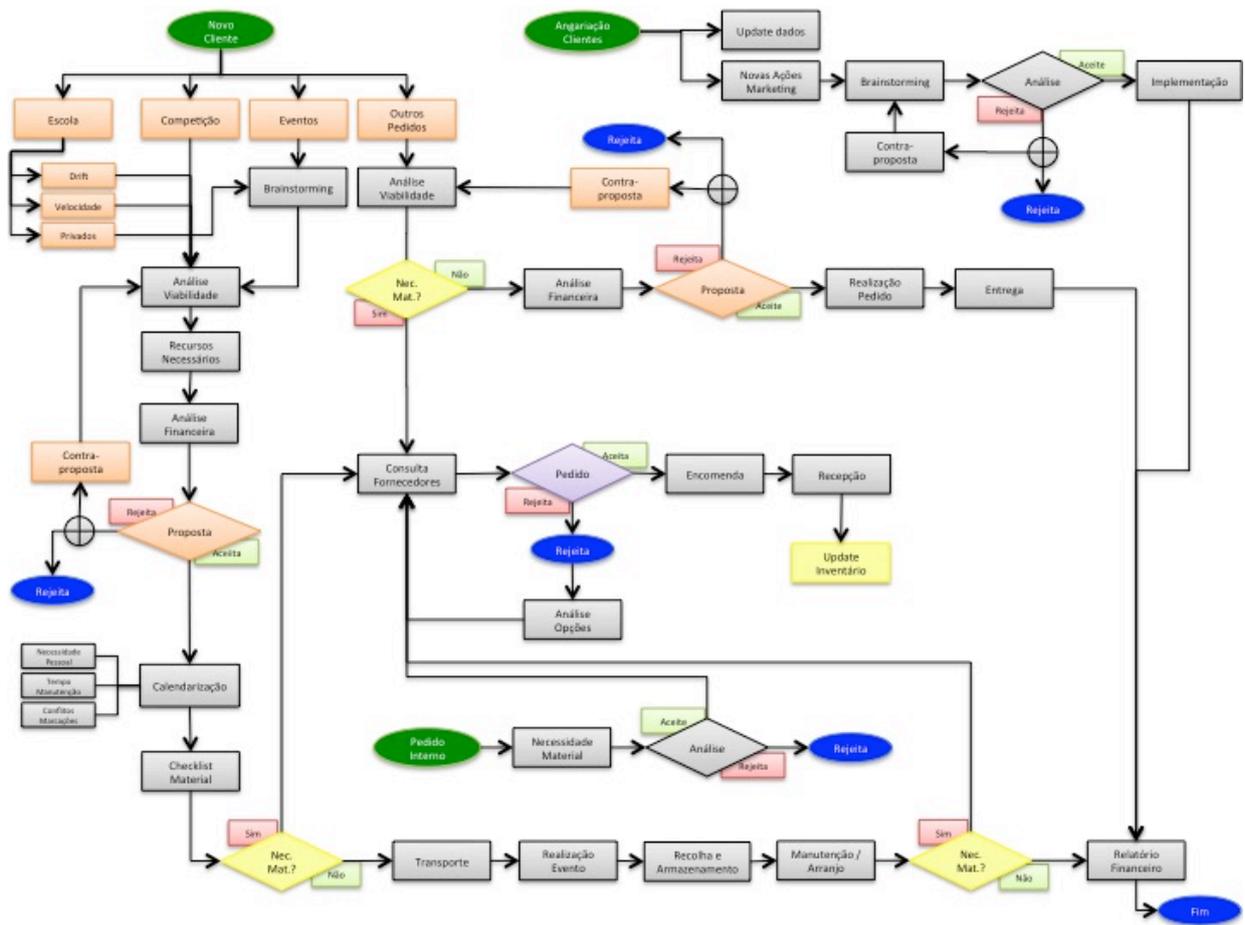


Figura 3: Fluxograma geral de atividades

Foram ainda elaborados fluxogramas divididos para cada atividade, figura 4, onde pelas cores dos departamentos, é possível saber por qual passa cada atividade. Assim eliminaram-se as perdas de informação e atribuídas responsabilidades.

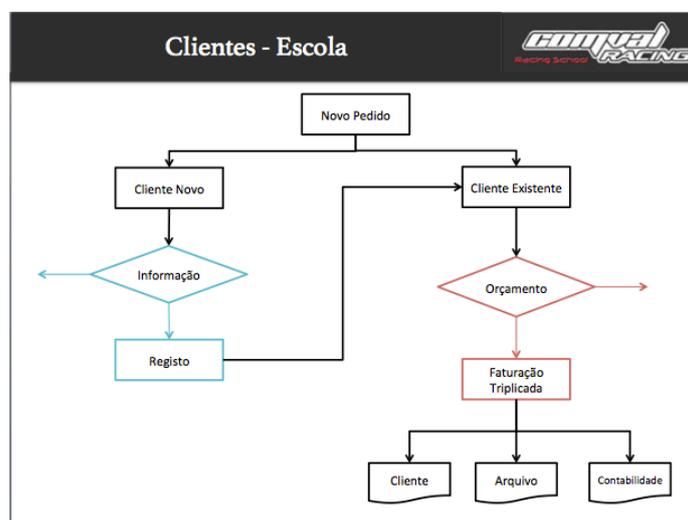


Figura 4: Exemplo de fluxograma particular

2.3 Gestão de Material

Um dos problemas da *Comval Racing* era também a falta de controlo e organização dos materiais necessários ao trabalho.

Tendo em conta que o dia-a-dia desta empresa são operações com veículos de competição, os materiais básicos ao trabalho envolvem, por exemplo, parafusos, porcas e anilhas. Todo este material estava pouco separado dificultando e atrasando os trabalhadores aquando da necessidade de os encontrar e utilizar. Foram por isso aplicados conhecimentos académicos, relacionados com *lean*, sendo feita uma separação detalhada de todos os materiais, como se pode observar na figura 5, assim como etiquetado cada tipo de componente de forma a todos saberem claramente qual o tipo e dimensão do objeto que estão a pegar.



Figura 5: Amostra da organização de materiais após aplicação do 5 sigma

Além da falta de organização e consequente desperdício de tempo, havia ainda o problema do controlo de materiais. Mesmo sendo ainda uma empresa de pequena dimensão, os projetos e ações que estão a ser levadas a cabo pela *Comval Racing*, deverão levar a um crescimento exponencial durante os próximos tempos, ou seja, a necessidade de ter já implementado um sistema de gestão de materiais/*stock* era essencial. É agora possível encontrar à saída de armazém um monitor *touch* onde os trabalhadores quando pegam numa peça, ou várias, dão saída de material no programa. O *software* usado tem o nome de *InFlow*, escolhido pelo facto

de ser um programa relativamente acessível e bastante completo. Com este, é possível não só controlar o que há em *stock*, mas também ter uma noção exata de quanto se gastou e em que momento, quem retirou o material, qual o restante, níveis de reposição, entre outras informações importantes para o controlo financeiro e de materiais.

3. FUNDAMENTOS DE ESCALONAMENTO DA PRODUÇÃO – MÁQUINAS PARALELAS

3.1 Introdução

A dissertação de mestrado aqui presente tem como propósito a utilização de métodos de escalonamento de produção de forma a apresentar uma proposta de resolução sobre o caso de estudo considerado, relativamente a um conjunto de tarefas que devem ser escalonadas para a manutenção de um determinado número de carros e que será descrito mais detalhadamente no capítulo 4. É então necessário caracterizar a componente teórica do tema proposto.

Ao longo deste capítulo serão expostos uma série de fundamentos já estudados de forma a alcançar uma fundamentação válida para todas as alegações proferidas nos capítulos seguintes. Serão para isso generalizados alguns temas relativos ao escalonamento da produção, tendo sempre em vista a especificidade presente no caso de estudo, que se baseia num ambiente de processadores paralelos.

Devem sempre ser considerados diferentes métodos de resolução de problemas de forma a concluir qual, aquando da sua implementação, terá resultados mais benéficos para a empresa, de acordo com uma determinada medida de desempenho considerada.

Assim, neste capítulo, será feita uma pequena introdução aos sistemas ou ambientes de produção em máquinas paralelas, depois são apresentadas as características dos problemas de EP em máquinas paralelas (MP). No tópico seguinte são apresentadas as medidas de desempenho que justificam um bom ou mau escalonamento, mais abaixo os métodos ou algoritmos utilizados e finalmente os sistemas de aplicação ou *softwares* de apoio ao EP.

3.2 Sistemas de produção de máquinas ou processadores paralelos.

Um planeamento eficiente de todas as atividades envolventes à área produtiva da empresa é um dos passos mais importantes de forma a alcançar a excelência no desempenho da empresa, tanto a nível operativo como financeiro.

Este planeamento, tendo sido devidamente construído e aplicado nas respetivas áreas alvo, constitui um fator diferenciador relativamente a outras empresas concorrentes, podendo ser determinante para alcançar a vantagem competitiva no ramo em que se inserem.

O planeamento de tarefas alocadas aos processos de produção é iniciado quando o responsável por esse mesmo planeamento estabelece uma ordem lógica para todas as atividades

envolventes, indicando para cada uma delas qual o recurso mais adequado e considerando todas as restrições relativas a tempos e precedências entre tarefas, quando estas existem, entre um mais ou menos vasto conjunto de outras condições ou restrições impostas num dado problema de EP (Pinedo, 2012).

O escalonamento de produção tem geralmente um objetivo claro, por parte dos seus responsáveis, de minimizar ao máximo um conjunto de medidas de desempenho relacionadas com o tempo: tempo de conclusão de um conjunto de tarefas, atraso, número de tarefas atrasadas, conclusão prévia das tarefas, ou uma combinação destas. Tais objetivos ainda podem estar integrados através de um fator de priorização associado a cada tarefa, cuja relevância é normalmente preponderante (Morton e Pentico, 1993).

3.2.1 Tipos de planeamento

Dentro de uma organização bem estruturada e hierarquizada, todos os anos é feito um planeamento bem estruturado de forma a saber qual será o rumo de uma empresa, ou seja, quais as ações que deverão ser seguidas e principais objetivos e assim, ter uma previsão de qual será a sua situação económica e respetivas consequências. Existem 3 tipos principais de planeamento que uma empresa estabelece: estratégico, tático e operacional.

O planeamento estratégico, ou de longo alcance, é aquele que define as estratégias da empresa a longo prazo. Este tem em conta todos os fatores internos e externos, por exemplo a situação económica global, sendo a empresa avaliada como um todo. Normalmente este é feito num intervalo de 5 a 10 anos, sendo no entanto necessário atualizar frequentemente este planeamento.

O planeamento tático, ou médio, difere consoante a área a considerar. A área financeira terá o seu próprio planeamento, assim como o marketing, recursos humanos, e assim para as restantes áreas. Este é, regra geral, feito todos os anos, procurando otimizar uma determinada área da empresa.

O planeamento operacional, ou de curto alcance, coloca em prática o planeamento tático dentro da empresa, envolvendo cada uma das tarefas e metas da empresa. Este planeamento deve incluir prazos, metas e recursos para a execução das tarefas em análise. Assim, será feito um plano detalhado, sendo feita uma apreciação para cada tarefa isoladamente. (<http://adm.esobre.com/planejamento-estrategico-tatico-operacional>)

Nesta dissertação, para a análise sobre o escalonamento de produção em sistemas de máquinas paralelas, será feito um estudo considerando o último tipo de planeamento acima referido, ou seja, o planeamento operacional.

3.2.2 Sistemas ou ambientes de produção

Previamente à abordagem específica de sistemas de máquinas paralelas, será feita uma breve exposição das classes de ambientes de produção.

Para a conclusão de um trabalho, ou para a produção final de um artigo, podem ser necessárias realizar uma ou mais operações, em uma ou mais máquinas ou processadores. Uma operação refere-se à fase de transformação de um trabalho e é constituída por uma ou mais etapas simples, podendo no final tornar-se complexo consoante o número de etapas dentro de cada operação. Várias operações necessárias para a conclusão de um artigo podem levar à necessidade de alteração do setup da máquina para conclusão do trabalho em causa, no entanto, o mais comum para este tipo de casos é a utilização de várias máquinas, sendo previamente estabelecida as precedências de operações a serem realizadas nas diferentes máquinas.

Existem duas classes genéricas de ambientes de produção: uni-operação e multi-operação. A primeira é um ambiente ou sistema de produção caracterizado pelo processamento de trabalhos com uma única operação. A segunda é ambiente ou sistema de produção caracterizado pelo processamento de trabalhos com duas ou mais operações, ou seja, integram pelo menos duas fases de produção.

Um exemplo para um sistema uni-operação pode ser o processamento de placas de plástico, processadas através de uma máquina injetora, passíveis de serem concluídas numa só operação. Conclui-se, portanto, a definição supor a existência de postos de trabalho independentes e autónomos para a realização de tarefas específicas.

Os sistemas multi-operação são essencialmente distinguidos em função da existência das seguintes características: restrições de precedência, relação entre a quantidade de precedentes e número de tarefas ainda a realizar, possibilidade de existência de processadores repetidos e de eventuais processadores flexíveis, entre outras características específicas para cada contexto ou ambiente de produção diferenciado (Varela, 2007).

3.2.3 Sistemas de processadores únicos e paralelos

Estes sistemas referidos acima integram classes e subclasses de sistemas de produção e são apresentados abaixo consoante o número de processadores.

Sistema de processador único

É um sistema constituído por apenas um processador, figura 6, que efetua a prática de trabalhos e tarefas compostas apenas por uma só operação (Morton e Pentico, 1993). Considerando as classificações acima expostas relativamente a sistemas, uni-operação e multi-operação, os sistemas de processadores únicos encaixam na classe de operadores únicos. Pode-se dizer que este é o sistema de produção mais simples, em que cada trabalho é constituído apenas por uma só operação.

Considerando os trabalhos a realizar, existirá apenas uma fila de espera e conseqüentemente apenas um tipo de decisão a tomar, que consiste na determinação da ordem de execução dos trabalhos nesse mesmo processador.

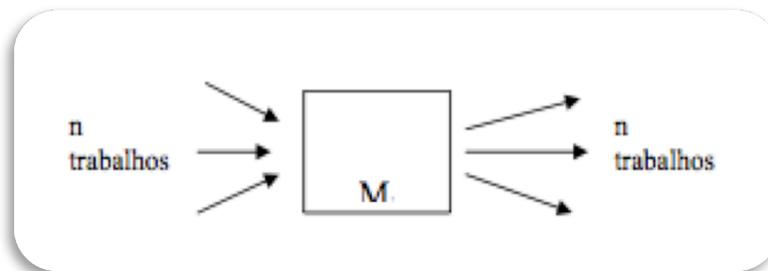


Figura 6: Sistema de processador único

Sistema de processadores paralelos

O processamento sequencial, através de um único processador singular, atende a uma grande parte das necessidades para produção de artigos numa indústria. Porém, de forma a obter um maior poder de processamento, é muitas vezes seguida uma abordagem diferente na forma como é feito o processamento dos artigos finais. Isso é conseguido, por exemplo, através do processamento paralelo.

O sistema de processadores em paralelo é aquele que possibilita a realização de um conjunto final de trabalhos ou tarefas em simultâneo, em que cada trabalho é constituído por apenas uma operação. Basicamente, funcionam como um conjunto de processadores únicos, em que num

sistema global, todos estes em paralelo realizam a mesma função (Blazewicz, Domschke e Pesch, 1996). Uma definição clara de processamento em paralelo será afirmar que faz uso de dois ou mais processadores simultaneamente de forma a resolver um mesmo problema, com o objetivo de reduzir o tempo necessário para a conclusão da tarefa, aumentando a sua capacidade de resposta ao problema.

Neste tipo de sistemas, para além da questão de sequenciação anteriormente referida para os processadores únicos, existe também o problema da afetação das operações a cada um dos processadores em consideração. A figura 7 representa um exemplo deste tipo de processadores.

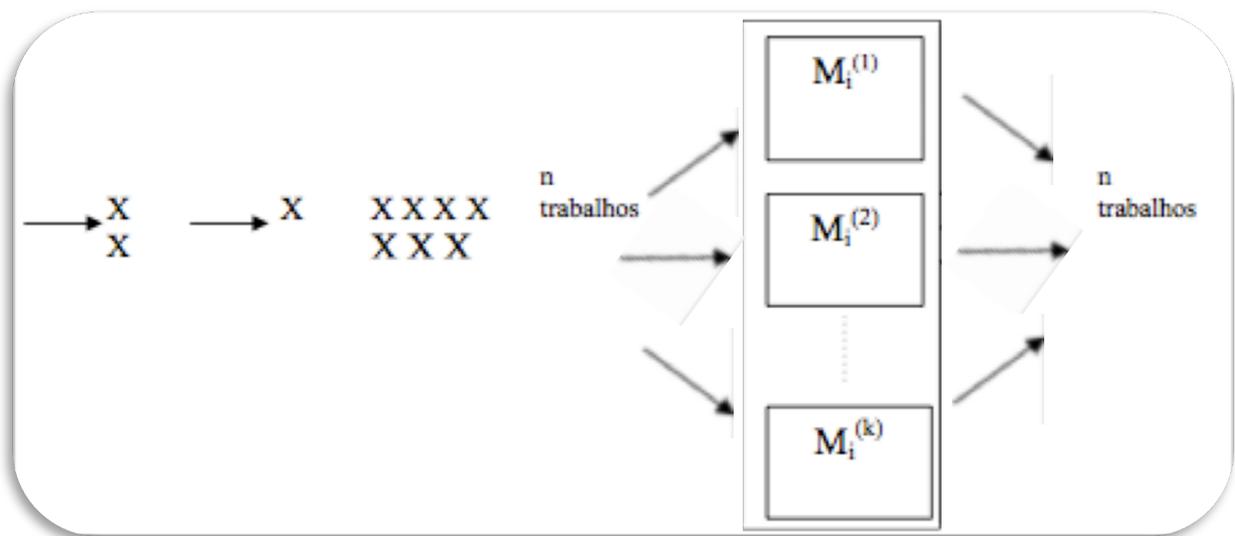


Figura 7: Sistema de processadores paralelos

Segundo Brucker (2007), dentro da categoria de processadores organizados em paralelo, existem três subcategorias, como se pode ver na figura 8, nas quais estes podem-se dividir, cujas características variam em função da velocidade e das capacidades de processamento: processadores idênticos, processadores uniformes e processadores não relacionados.

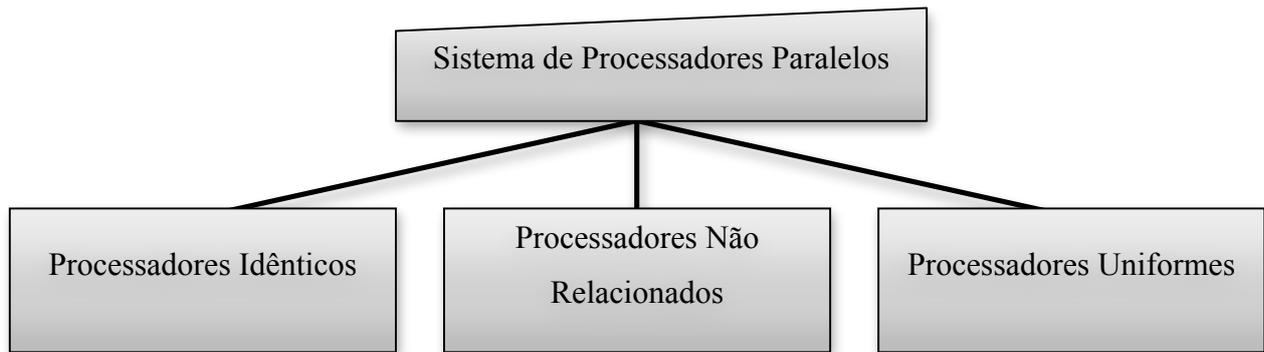


Figura 8: Tipos de processadores paralelos

Sistema de processadores paralelos idênticos

Este sistema considera um conjunto de processadores que operam em paralelo, em que todos eles possuem uma velocidade de execução igual para cada trabalho. Isto significa que para um determinado trabalho, o tempo de processamento da máquina A ou B será o mesmo (Brucker, 2007).

Sistema de processadores paralelos uniformes

No caso dos sistemas integrados com processadores uniformes a velocidade de execução já não é a mesma em todas as máquinas para um certo conjunto de trabalhos. Neste caso, o que varia é a velocidade com que os processadores operam, ou seja, a cada trabalho, será atribuído um tempo de processamento específico (Brucker, 2007).

Sistema de processadores paralelos não relacionados

Este sistema engloba as duas vertentes dos processadores anteriores, os idênticos e os uniformes. Neste caso, cada processador tem uma velocidade própria de processamento para cada um dos trabalhos a considerar. Pode-se dizer que são processadores especializados, uma vez que cada um estará mais orientado para uma determinada tarefa do que para outras. Assim, a velocidade, comparando com os processadores idênticos, será diferente em cada processador e, comparando com os processadores uniformes, será diferente para cada trabalho (Blazewicz, Domschke e Pesch, 1996).

3.3 Características dos problemas de escalonamento de produção em máquinas paralelas

A cada trabalho ou tarefa estão associados vários parâmetros que atribuem características específicas relativas à ordem pela qual esses mesmos trabalhos devem ser abordados aquando da produção do artigo final. Cada ordem de produção tem estabelecidas datas de entrega e outros fatores que obrigam a um escalonamento ponderado das tarefas necessárias à realização do produto final. Esta tarefa é complicada pelo lançamento de várias ordens de trabalho em simultâneo, onde se deve ter em atenção fatores diversos, como o tempo necessário para a realização de cada tarefa, as precedências obrigatórias para avançar com as mesmas, ou até mesmo os prazos de entrega já referidos (Carvalho, 2000).

Assim, existem determinados parâmetros e características intrínsecas às tarefas que devem ser tidas em conta quando é elaborado o escalonamento na produção (Batista, Fonseca e Miyazawa, 2006):

- Tarefas independentes: são aquelas que não têm qualquer tipo de restrição a nível de precedências, ou seja, seja qual for a ordem pela qual o trabalho é feito, o produto final será o mesmo, podendo apenas haver mudança no tempo que este demora a ser concluído.
- Tarefas com precedência: são aquelas em que existe uma ordem específica para completar o artigo final. A título de exemplo, se uma determinada tarefa C tiver como precedência a tarefa A, será primeiro preciso terminar a tarefa A antes de iniciar o processamento da tarefa C.
- Tarefas sem interrupção: são aquelas que pressupõe um trabalho contínuo desde o início até à conclusão da mesma.

Todos os parâmetros referidos acima, acrescidos de um eventual mais vasto conjunto de outros parâmetros que poderão ser especificados aquando da consideração de um determinado tipo de problema de EP, levam a um conjunto de interações dependentes de um sistema global, composto por diversos fatores, que podem mudar consoante a configuração pré-definida a considerar. Quando é lançada uma ordem de trabalho, esta deverá ser transformada em tarefas com uma determinada data de entrega, tarefas essas que pressupõe uma determinada ordem ou sequência. Por vezes, estes trabalhos passam a data de entrega definida devido à ocupação das máquinas e recursos necessários à realização dos mesmos. Isto acontece, por exemplo, devido ao lançamento de uma ordem de trabalho prioritária à lançada anteriormente. Outros problemas

que poderão levar ao atraso da produção são avarias das máquinas ou tempos de processamentos maiores do que os inicialmente previstos.

Assim, além de se considerar a flexibilidade das tarefas, deve-se também ter em conta a disponibilidade (*availability*) dos recursos que irão realizar a tarefa em causa.

- Disponibilidade: após terem sido programadas e devidamente ordenadas todas as tarefas referentes às diferentes ordens de trabalho, é necessário que todos os materiais e recursos estejam disponíveis nos momentos especificados do escalonamento proposto.

Um dos sistemas mais usados para garantir a disponibilidade dos materiais aquando da sua necessidade, é o planeamento das necessidades de material (*Material Requirements Planning* - MRP). As datas de conclusão das tarefas devem ser portanto definidas considerando o sistema de escalonamento de produção, em conjunto com o sistema de planeamento das necessidades de material. Estes sistemas MRP são normalmente bastante elaborados. A cada trabalho ou tarefa está associada uma lista de materiais (*Bill of Materials* – BOM) discriminando detalhadamente todos os componentes que serão necessários à produção e conclusão dessa tarefa.

Desenvolver, por isso, um escalonamento detalhado de todas as tarefas, considerando todos os fatores que poderão ter influência nessas mesmas tarefas, será essencial para manter a eficiência e controlo das operações (Pinedo, 2012).

Tipicamente, o escalonamento será uma função entre o tempo de conclusão, data de validade e prazos de entrega dos trabalhos, em que se considera, normalmente, um número de máquinas fixo para ambientes de produção. No caso dos serviços, há muitas vezes um número variável de recursos, como é o caso dos contratos a *part-time*. Por isto, pode haver um diferente tipo de objetivo que tenta minimizar o número de recursos usado e/ou minimizar o custo associado com o uso destes recursos. Num ambiente de serviços, o objetivo poderá ser a combinação de dois tipos: um relativo aos tempos de atividades e outro relativo à utilização de recursos. Estes seriam combinados numa só função objetivo, cada um com um peso ponderado apropriado à empresa.

3.4 Medidas de desempenho

De modo a ser aplicado o melhor método que leve a um desempenho ótimo do sistema de produção, devem ser considerados certos e determinados critérios que justificam a seleção de um método adequado à resolução do problema. Estes critérios são baseados em medidas que

permitem avaliar o desempenho do sistema para uma melhor eficiência deste, ou seja, estas medidas irão avaliar se as decisões tomadas são as melhores para o bom funcionamento do sistema. Um bom programa será portanto aquele que permite satisfazer um objetivo final, associado ao desempenho que o sistema deverá assegurar. Esse objetivo poderá ter em vista a maximização ou a minimização dos critérios referidos.

Os critérios de otimização de sistema de produção avaliam o desempenho do sistema considerando, por exemplo, a utilização do sistema de produção, ou o fluxo de produção, ou o atraso dos trabalhos e ainda poderão ser considerados muitos outros tipos de critérios, nomeadamente económicos, de uma forma simples ou combinada (Varela, 2007).

Segundo Varela (2007), os critérios de otimização permitem atingir diversos objetivos, nomeadamente:

- Maximização do fluxo de produção;
- Satisfação dos requisitos de qualidade e rapidez de resposta aos clientes;
- Minimização dos custos de produção;
- Combinação dos casos anteriores.

Uma breve nota a Morgan (1997), que classificou os critérios de otimização quanto à sua regularidade e complexidade, podendo-se definir como regular, não regular, simples ou combinado. Os critérios, considerados relevantes para esta dissertação, podem ser ainda divididos em:

- Utilização do sistema;
- *Makespan*;
- Tempo Total de Produção.

3.4.1 *Makespan*

Num trabalho em que exista um número ilimitado de máquinas ou recursos, de forma a que todas as ordens de trabalho possam ser iniciadas assim que todos os seu precedentes estejam completos, o objetivo será minimizar ao máximo o instante de tempo em que a última tarefa é finalizada. Esta minimização é vulgarmente chamada de *makespan*. Quando é feito o planeamento do trabalho deve-se sempre considerar primordialmente os trabalhos que determinam o *makespan*, ou seja, os trabalhos críticos. Um trabalho é considerado crítico se, na

eventualidade do seu atraso, tenha como consequência o atraso de todo o projeto (Pinedo, 2012).

Sempre com o intuito de minimizar custos e aumentar a produtividade da empresa, são sempre colocadas várias restrições de forma a ser otimizado todo o processo. Uma das restrições mais comuns é precisamente o *makespan*. Deve ser feita uma calendarização e ordenação das atividades de forma a que seja minimizado, ao máximo, o tempo em que a última tarefa é completada, isto é, o *makespan*. O *makespan* é representado simbolicamente por C_{\max} (Cheng, Ji e He, 2007).

Makespan pode, por isso, ser definido como a diferença de tempo entre a primeira tarefa e aquela que determina o final de uma sequência de tarefas ou trabalhos. Isto é o mesmo que dizer, o tempo a que a última tarefa de uma sequência de trabalhos está completa (Blazewicz et al., 2004).

O *makespan* é importante não só em sistemas de escalonamento de produção, como também em qualquer outro tipo de tarefa, nomeadamente, nos agendamentos e sistemas de reserva. Por exemplo, uma época de exames, em que há a necessidade de realizar várias provas numa só semana. O primeiro objetivo seria calendarizar todos os exames dentro de uma só semana, e o segundo será minimizar o número de salas usadas. Aqui, como minimizar o *makespan* será igual a minimizar o tempo de setup, o objetivo de otimizar esta medida de desempenho terá um papel fulcral na definição de transportes quando o “*turnaround time*” tem de ser reduzido ao máximo.

3.4.2 Tempo Total de Produção

O tempo total de produção, usualmente representado por F_{total} , é a soma dos tempos necessário à conclusão de todos os trabalhos relativos a um produto. O tempo de produção de uma tarefa é definido como o intervalo de tempo desde o seu início, até à sua conclusão. A soma de todos estes tempos permitirá chegar ao resultado pretendido, F_{total} . Em sistemas que envolvam filas, esta duração engloba tanto o tempo de espera como o tempo de processamento do trabalho na máquina, sendo por isso necessário melhorar também a qualidade dos serviços (Guo et al. 2004, Ravindran et al., 2005).

3.4.3 Capacidade

Tendo sempre em consideração o critério económico, as medidas de desempenho objetivam um equilíbrio ótimo em que se consiga obter o máximo de produtos com os recursos disponíveis. Muitas vezes é cometido o erro de querer produzir o máximo possível, pois assim é reduzido o custo de produção, sem ponderar a capacidade dos recursos disponíveis.

Os requisitos e restrições relativos à capacidade das máquinas são importantes no que se refere a sistemas de reserva, agendamento de reuniões, assim como planeamento e calendarização de transportes. Uma reunião ou um exame deve ser programado consoante o número de participantes envolvidos. Este número será um parâmetro essencial da ocorrência, dado que a viabilidade do evento ser realizado corretamente ou não, depende da sua capacidade, ou seja, a ocupação/utilização deverá ser inferior à capacidade (Silva, 2010).

Como exemplo, quando é definida a utilização de um determinado avião para uma viagem de A a B, deve-se ter em conta o número de lugares desse mesmo avião.

Os requisitos de capacidade são semelhantes para as restrições de seleção de uma determinada máquina num modelo de produção. Num ambiente de produção em máquinas paralelas, um certo trabalho “j” pode não ser processado numa qualquer máquina disponível, mas sim na que permite a realização de uma certa tarefa. Isto acontece no caso em que as “m” máquinas não são exatamente iguais (Pinedo, 2012).

3.4.4 Utilização

A utilização é um dos fatores mais importantes no escalonamento da produção e na análise económica do processo produtivo. Vejamos o seguinte exemplo, se é dada uma determinada ordem de produção, em que uma das tarefas pode ser realizada por qualquer uma de três máquinas que a empresa tem em posse, então a carga será distribuída pelas três de forma a ser mas rápida a conclusão da ordem de trabalho considerada. No entanto, nenhuma das máquinas esteve ocupada o tempo todo, ou seja, se fossem usadas apenas duas máquinas a ordem seria igualmente concluída em tempo útil. Isto significa que uma das máquinas não é necessárias e poderia ser poupada, sendo considerada um desperdício.

Deve ser por isso sempre tido em conta, o coeficiente de utilização de cada máquina, devendo estar sempre maximizada. Quanto mais perto do 100%, melhor estará a ser aproveitada. Obviamente, não deve também ser corrido o risco de ser ultrapassada a capacidade da máquina, com o risco de criar um ponto de *bottleneck*, atrasando toda a produção.

Um caso muito prático, em que é de máxima importância a taxa de utilização de recursos, são as empresas de transporte. Sempre que é planeada um transporte para um determinado local, é sempre procurada a ocupação de todos os espaços, por exemplo de um camião, de modo a que não fique praticamente nenhum espaço vazio que poderia ser rentabilizado com o transporte de mais um componente.

Segundo Pinedo (2012), utilização pode ainda ser definida como a proporção de tempo em que a máquina está efetivamente ocupada.

3.4.5 *Work in Process*

O termo inglês *Work in Process* (WIP) é referente à quantidade de trabalho que ainda está a ser processada ou que ainda não foi finalizada e está, por algum motivo, em espera e/ou em processamento.

Esta medida de desempenho é muito importante para uma empresa, dado que todo o trabalho que ainda não está finalizado não acrescenta valor à empresa, agravado pelo facto de que, com o tempo, os componentes podem ser danificados e/ou tornarem-se obsoletos. Muitos destes trabalhos ou componentes ainda podem impedir importantes operações de serem concluídas (Pinedo, 2012).

3.4.6 Transporte

O conceito de valor acrescentado nesta medida de desempenho só é válida para empresas em que o transporte é efetivamente a finalidade do problema em si, ou seja, por exemplo, em empresas de transporte. Este é feito por diversas vias, como por exemplo camião, comboio, avião, ou barco, cada uma com um conjunto específico de características relacionadas com a velocidade, custo e fiabilidade. No entanto, na grande maioria das empresas, o transporte é por isso considerado um desperdício, uma atividade que não acrescenta valor ao produto, é apenas a ponte entre uma atividade de valor acrescentado e outra (não sendo considerados aqui *stocks* intermédios).

Numa rede com várias instalações, o transporte pode representar uma parte significativa do custo total de produção. Na análise desta medida de desempenho, deve-se considerar o tempo desperdiçado em transporte, tentando minimizá-lo ao máximo (Pavnaskar, Gershenson e Jambekar, 2003).

3.4.7 Outros

Existem muitas outras medidas de desempenho que podem ser analisadas com o intuito de serem otimizadas, reduzindo os custos associados a estas e o consequente desperdício (Rabelo e Klen, 2000). Um desses exemplos é o tempo de atraso nas tarefas (*tardiness*), mas não foram considerados relevantes para esta dissertação.

3.5 Métodos ou Algoritmos de Escalonamento da Produção

Quando uma empresa é montada de raiz, são analisadas todas as vertentes e feito o melhor balanceamento possível para que tudo seja levado a cabo como planeado. No que à produção diz respeito, são implementados os métodos que se consideram ser os mais apropriados e rentáveis para o trabalho em causa. No entanto, muitas vezes são cometidos erros, ou por falta de informação, ou por imprevistos, ou simplesmente porque com a evolução da empresa é necessário alterar a forma como se trabalha.

Quando estamos perante um problema em que o número de soluções possíveis é reduzido, será relativamente simples determinar, dentro desse grupo, qual a mais vantajosa. No entanto, quando somos apresentados com problemas de complexidade relativamente mais elevada, o número de soluções pode ser de tal maneira extenso, que analisar todas as hipóteses possíveis torna-se certamente muito complicado, ou até mesmo impraticável. A solução usada neste tipo de situações é o recurso a métodos heurísticos. Estes são usados neste tipo de problemas devido às suas características de uso simples, resolução rápida e muitas vezes eficiente. Dois exemplos práticos deste tipo de métodos são os de pesquisa aleatória e aqueles que recorrem a regras de sequenciamento ou de prioridade (Conway, Maxwell e Miller, 2003, Varela, 2007).

Regras de sequenciamento são aquelas que permitem ordenar trabalhos tendo por base um determinado parâmetro, que assenta prioridades nas tarefas em análise. Estas regras têm em vista um determinado objetivo, expresso através de um dado critério de otimização para o problema em causa.

3.5.1 Regra LPT

Quando existem “m” máquinas em paralelo, o *makespan* é retirado entre todas essas máquinas, sendo por isso considerado dependente. O *makespan*, cujo objetivo de minimização desempenha um papel fundamental aquando da existência de várias máquinas que devem ser

programadas de uma forma o mais possível balanceada, vai de encontro a uma das regras de prioridade, a regra LPT (*Longest Processing Time f*). De acordo com este método, quando uma máquina é libertada de qualquer tarefa que a estava a ocupar até esse momento, a tarefa em espera com um tempo de processamento mais longo será a próxima a ser selecionada para ocupar essa mesma máquina. O objetivo desta regra é bastante claro. Todos os trabalhos com a menor duração devem ser direcionados para o final, uma vez que assim será mais fácil balancear o tempo de conclusão de todas as tarefas em máquinas paralelas. Assim, as tarefas com uma maior duração serão as primeiras a serem realizadas, e as com menor duração, ficarão para o final.

No entanto, a regra LPT não garante que o resultado final será a solução ótima para o problema. Poderá ser o caso, mas provavelmente haverá outras soluções que permitam um melhor balanceamento e programação das tarefas nas máquinas (Blazewicz et al., 2001).

3.5.2 Regra SPT

A regra SPT (*Shortest Processing Time first*) é precisamente o inverso da anterior. Esta pressupõe que as tarefas devem ser alocadas por ordem crescente de duração, ou seja, as tarefas com menor duração são as primeiras a serem realizadas, ficando as mais longas para o final (Silva, 2010).

Segundo Pinedo (2012), já foi demonstrado que este método, normalmente, tem como vantagem a minimização do número médio de tarefas em espera.

3.5.3 Algoritmo de *Kedia*

Esta heurística procura minimizar o makespan segundo dois passos muito simples. Primeiro, deve ser “aplicada” a regra LPT de forma a ordenar os trabalhos por ordem decrescente de tempo de processamento. Depois, já com os trabalhos ordenados, afeta-los, começando pelo primeiro da lista, à máquina com a mínima carga já afetada.

A heurística de *Kedia* é considerada bastante eficiente, obtendo frequentemente a solução ótima do problema (Silva, 2010).

3.5.4 Método GSBR

Trata-se de uma heurística, muito utilizada para resolver problemas de *makespan*, quer em sistemas de máquinas paralelas, quer em configurações mais complexas do tipo oficina de fabrico ou *job shop*.

A heurística *General Shifting Bottleneck Routine* (GSBR) é uma heurística que sequencia os trabalhos nas máquinas, considerando uma por uma, sucessivamente, identificando a máquina que funciona, em cada instante, como um gargalo (máquina mais ocupada), de entre várias máquinas alternativas disponíveis e ainda não alocadas ou com menor carga (Pinedo, 2012). Depois de uma nova máquina ser alocada, todas as sequências anteriormente estabelecidas são reotimizadas localmente. Embora a heurística presente, em geral, apresente bons resultados, continua a ser necessário resolver a classe $P||L_{\max}$, considerando cada uma das máquinas individualmente. O procedimento de implementação da heurística pode ser verificado a seguir:

1. M = identificar todas as máquinas no problema (M);
2. M_0 = Máquinas onde as tarefas já foram alocadas;
3. Escolher entre $M - M_0$ a máquina *bottleneck*. Determinar qual vai ser o próximo *bottleneck*, resolver um problema do tipo $1|t_j|L_{\max}$, para cada uma das máquinas, e escolher aquela que obteve o atraso máximo;
4. Para a máquina escolhida como *bottleneck*, conectar os arcos disjuntivos, de maneira a minimizar o atraso máximo;
5. Para todas as máquinas pertencentes a M_0 , analisar a sequência das tarefas novamente;
6. Até todas as máquinas pertencerem a M_0 , voltar ao 3º passo.

3.5.5 Outros

Existem outros métodos para resolver problemas de escalonamento da produção, como por exemplo o método ou regra de prioridade EDD (*Earliest Due Date first*) (Chen, 2009). No entanto, não foram considerados relevantes para a resolução de problemas presentes nesta dissertação. Isto não representa que sejam menos significantes para temas relacionados com o escalonamento, apenas não foram considerados neste caso específico de caso de estudo.

3.6 Sistemas de Apoio ao Escalonamento da Produção

No que toca a sistemas de apoio ao escalonamento da produção, existem vários tipos de sistemas baseados nos mais diversos domínios de investigação. Temos, por exemplo, os sistemas baseados em inteligência artificial ou sistemas de investigação operacional.

Tais sistemas podem ser aplicados nos diversos campos e sectores industriais, em que perante um vasto conjunto de problemas, incluem geralmente diversos tipos de métodos para a sua resolução. Assim, pode-se afirmar que o seu grau de complexidade é variável, consoante o problema em análise.

Existem vários tipos de sistemas que podem ser utilizados, sendo estes baseados em abordagens mais ou menos recentes, nomeadamente sistemas mais recentes, que têm especial incidência no uso de novas tecnologias, tais como as tecnologias relacionadas com a internet (Varela, 2007).

Segue abaixo uma pequena revisão teórica dos principais sistemas de apoio ao escalonamento da produção, onde será dado foco ao mais usado nesta dissertação, mas com referência a alguns dos analisados previamente à seleção final do sistema escolhido, para resolução do caso de estudo e deduções consequentes. De forma a oferecer uma melhor organização e percepção, os sistemas referidos foram divididos em dois grupos: sistemas tradicionais e sistemas *web*.

3.6.1 Sistemas tradicionais

Um bom sinónimo para tradicional será a expressão convencional. É precisamente isso a que se refere este tipo de sistemas, que geralmente correm localmente em máquinas ou PCs dedicados a determinada empresa.

Os sistemas tradicionais são aqueles que têm por base tecnologias convencionais, que já existiam e eram usadas no passado (muitos deles surgiram nos anos 90) e que continuam a ser, embora muitas vezes com uma frequência inferior, usados nos dias de hoje. Estas tecnologias incentivam ao desenvolvimento de sistemas de apoio à decisão no que ao escalonamento da produção diz respeito.

Lekin

Dado que o *job shop* é um ambiente vulgarmente observado em ambientes de produção, muitos foram os sistemas direcionados ao escalonamento desenvolvidos, no que a este tipo de ambiente diz respeito. Um desses muitos exemplos, é o sistema *Lekin* de Pinedo (2012).

Embora o *Lekin* tenha sido inicialmente criado como uma ferramenta direcionada ao ensino e investigação, várias ramificações foram feitas ao longo dos últimos anos, e acabou por tornar-se bastante usado em aplicações reais da produção.

O *Lekin* contém uma série de heurísticas e algoritmos relacionados com o escalonamento, permitindo ao utilizador conectar e testar as suas próprias heurísticas, comparando o seu desempenho com as heurísticas e algoritmos embebidos no sistema. O *Lekin* tem a capacidade de acomodar vários ambientes de produção no seu sistema, entre eles temos (Pinedo, 2012):

- Máquinas únicas;
- Máquinas em paralelo;
- *Linhas de produção simples ou flow shop*;
- *Linhas de produção flexíveis ou flexible flow shop*;
- *Oficina clássica ou [classical] job shop*;
- *Oficina geral ou flexível ou flexible job shop*.

Este sistema é capaz de lidar com uma sequência de tempos de setup dependentes em todos os ambientes acima listados. A abordagem de problemas relacionados com montagem também não é estranha a este *software*, ou seja, problemas em que duas unidades distintas que receberam processamento em dois processadores, poderão ir para um terceiro processador para procederem à montagem final de um dado produto.

Relativamente a tempos, o *Lekin* permite estabelecer tempos de preparação dependentes da sequência definida, tendo também um calendário onde é possível a introdução de tempos de manutenção, assim como feriados e outras possíveis pausas.

O sistema consiste num módulo de base de dados local, com um módulo de interface com o utilizador. O módulo de base de dados local faz a sua própria gestão dos dados, sob a forma de repositório para as heurísticas. Depois do sequenciamento ter sido gerado, toda a informação é enviada para o módulo onde é feita a interface com o utilizador.

Relativamente à capacidade do sistema, este permite manipular:

- Até 18 trabalhos;
- Até 10 centros ou postos de trabalho;
- Até 4 processadores em cada centro de trabalho.

Visualmente, este sistema permite ainda construir manualmente, através de uma interface gráfica, programas de produção, sendo possível movimentar as tarefas nos diversos processadores, e visualizar as soluções obtidas através de diagramas de *Gantt*.

Além de tudo isto, o *Lekin* possibilita o armazenamento das diversas soluções obtidas aquando da execução dos diferentes métodos escolhidos, com o intuito de serem comparadas e assim inferir qual a melhor para o problema em análise (Varela, 2007).

LISA

LISA, *Library of Scheduling Algorithms*, é um *software* para resolução de problemas determinísticos, relacionados com o escalonamento da produção.

Num problema de escalonamento, um certo número de tarefas têm de ser processadas num certo número de máquinas com um conjunto de restrições, de tal forma que uma função objetivo específica seja ótima. Todos os parâmetros devem estar previamente estabelecidos e fixos.

A solução deverá ser uma sequência, onde o instante de início e conseqüente tempo de conclusão constituem o escalonamento objetivado. Estas sequências e agendamentos serão descritas através de matrizes e, neste *software*, também sob a forma de diagramas acíclicos e diagramas de *Gantt*, respetivamente. Como já foi referido, os problemas de *job shop* são normalmente difíceis de resolver, muitas vezes não pela sua complexidade em si, mas pelo número de soluções possíveis, sendo por este meio resolvidas por um conjunto de heurísticas construtivas e iterativas (Andresen et. al, 2010)

Este *software* utilizada a sua própria estrutura de dados para manusear problemas de escalonamento da produção, no que a entradas de dados e soluções diz respeito. Este sistema disponibiliza um conjunto de métodos, sendo eles exatos e heurísticos. Considerado de uso relativamente fácil, permite adicionar métodos desenvolvidos pelo utilizador. A lista de métodos disponibilizados incluem regras de prioridade e procedimentos diversos, tais como:

- *Branch-and-bound*;
- *Shifting bottleneck*;
- *Beam search*;
- Etc.

Entre outros procedimentos heurísticos e exatos (Varela, 2007).

Sistema de escalonamento desenvolvido por Kazerooni et al

Kazerooni, juntamente com outros investigadores, desenvolveram um sistema de suporte à decisão, para a programação da produção em sistemas flexíveis de manufatura, usando

simulação digital. Nesta investigação, foram analisados os problemas relacionados com a operacionalidade desses sistemas, através de um conjunto combinações referentes a regras de sequenciação. Estas regras podiam posteriormente ser avaliadas através um sistema de lógica difusa (Varela, 2007).

YAMS

YAMS, (*Yet Another Manufacturing System*), foi um dos primeiros sistemas baseados em agentes e inteligência artificial. Neste sistema, cada componente da fábrica era representado como um agente. Cada agente tem um conjunto de planos, que representam as suas capacidades. Este sistema de planeamento e controlo pretende ilustrar a aplicabilidade da inteligência artificial (Jennings e Wooldridge, 1998).

Outros

Existem muitos outros sistemas tradicionais que podem ser considerados para o escalonamento da produção, como por exemplo o SCORE (*Shop-floor Contingency Rescheduling Expert*), o PATRIARCH, MASCOT, ou o OPAL. Todos eles, com um nível mais ou menos rudimentar, mais ou menos desenvolvido, podem ser usados como *softwares* para definir o escalonamento das atividades em estudo.

3.6.2 Sistemas *Web*

Os sistemas tradicionais acompanharam o crescimento e evolução tecnológica, alcançando o mundo dos sistemas *online*, onde surgiram naturalmente os sistemas *web*. Estes surgiram na sequência dos anteriores, com a grande vantagem que podem ser facilmente usados e partilhados em rede.

NEOS Server

O NEOS *server* é um serviço de *software online* gratuito, para a resolução de problemas de otimização numérica, incluindo problemas de escalonamento da produção. Destaque para problemas do tipo caixeiro viajante.

Localizado na universidade de *Wisconsin*, o NEOS server oferece uma grande variedade de programas *solvers*, através de interfaces em rede, possibilitado por máquinas de alta performance (<http://neos-guide.org/>).

FortMP

O *FortMP* é um sistema de otimização concebido para resolver uma grande variedade de problemas de programação matemática. Este programa é bastante usado em problemas de transporte, agendamento, modelos económicos, sistemas e redes de energia, ou aplicações em escalonamento industrial. É possível aceder a este *software* através do já referido NEOS *server*. Na sua configuração base, o FortMP é adequado para problemas de programação linear, programação matemática (por exemplo mista), ou programação quadrática.

Os problemas de programação linear são processados por algoritmos *simplex*, com variantes *primal* e *dual*. Os programas integrados mistos são resolvidos através da aplicação do método de pesquisa *branch and bound*.

O FortMP apresenta algumas vantagens, sendo ajustado para plataformas em série e em paralelo; pode ser embutido noutros ambientes de *software*; várias aplicações podem ser construídas através de sub-rotinas provenientes de um programa principal em C (http://www.neos-guide.org).

e-OCEA

Este sistema de apoio à decisão para problemas de escalonamento, chamado e-OCEA, foi desenvolvido por uma equipa de investigadores no Laboratório de Ciência Computacionais, na Universidade de *Tours*. O utilizador dispõe de ferramentas que o ajuda a criar um algoritmo de forma a resolver problemas de escalonamento.

Desde a modulação do problema, até à visualização final em computador, o sistema e-OCEA oferece um *software* que pode ser usado tanto para operações de investigação, como por engenheiros industriais. Basicamente, este sistema é composto essencialmente por duas partes. A primeira está relacionada com gestão de base de dados, e permite ao utilizador manipular algoritmos, referências e conjuntos de informação. A base de dados é gerida através de um servidor MySQL. A segunda parte contém vários módulos, em que cada um oferece ao utilizador, funcionalidades para identificar, resolver ou visualizar problemas de escalonamento (T'Kindt et. al, 2005).

Riot

A sigla RIOT, *Remote Interactive Optimization Testbed*, é outra das opções *online*, tendo como público alvo engenheiros industriais e departamentos de operações de investigação. Este sistema, desenvolvido na Universidade de *Berkeley*, segundo os seus fundadores tem como propósito alcançar quatro objetivos principais (<http://riot.ieor.berkeley.edu/>):

- Na área institucional, proporcionar informação educacional através da internet, e apresentar alguns problemas interativos através de uma plataforma simples de manobrar;
- Na área de investigação, expor o algoritmo desenvolvido pela Faculdade de Engenharia da Universidade de *Berkeley*;
- Na investigação comparativa, oferece mais informação para diferentes algoritmos que resolvem problemas semelhantes;
- Oferecer aplicações que resolvem problemas gerais, ou específicos, de forma interativa, *online*.

4. CASO DE ESTUDO

4.1 Introdução

Com uma estrutura consideravelmente pequena, no que ao número de trabalhadores diz respeito, e com uma carga de trabalho avultada, dado estar presente em dois ramos, dentro da mesma área mas, com finalidades compreensivelmente distintas, a *Comval Racing*, sempre apresentou bastantes problemas no que à organização diz respeito.

Considerando a competição automóvel, a exigência a que a equipa de trabalho está sujeita é enorme. Num empresa em que o produto oferecido ao cliente inclui uma componente de alta velocidade e adrenalina, estamos desde logo presentes com questões relacionadas com a segurança. Tendo ainda em conta o ramo da competição presente, está intrínseco o espírito e vontade de ser melhor e lutar pela vitória. Tudo isto implica uma enorme exigência à equipa, que deve analisar detalhadamente todos os componentes do veículo, tanto a nível da segurança, em que o cliente nem coloca a hipótese de falha, como na performance, a componente que fará a equipa destacar-se das demais e possibilita a oferta de um produto de qualidade superior.

Relativamente à escola, ser a única equipa de formação de pessoas interessadas em *Drift* e Velocidade, coloca a *Comval Racing* desde logo num patamar de exigência bastante alto, em que os clientes perspetivam imediatamente um produto único de carácter exclusivo.

Todas estas exigências, aliadas a uma componente de imprevisibilidade máxima, em que nunca se sabe quando um veículo irá falhar, seja por desgaste, uma vez que os carros estão sempre a ser levados ao limite, seja por acidentes, algo frequente em provas de competição automóvel, obriga a equipa a planear da forma mais eficaz possível toda a época, e a ter presente sempre o pior cenário possível, de forma a que a disponibilidade do seu produto seja possível para o cliente em cada evento. Este planeamento, no que à preparação, reparação e manutenção dos carros diz respeito, vai de encontro ao tema principal desta dissertação, o escalonamento da produção.

4.2 Descrição do Problema

O mundo da competição, seja em que ramo for, tem um problema bastante grande no que à preparação e cumprimento de prazos diz respeito. Todas as provas têm, desde logo, uma data definida e o evento marcado não será alterado porque a equipa não conseguiu cumprir as suas tarefas atempadamente. Isto poderá ser uma vantagem na medida em que pode ser feito um

planeamento prévio para todo o ano. No entanto, nada prevê imprevistos que possam acontecer, tal como já foi acima referido.

Durante a época corrente, a *Comval Racing* já esteve perante situações em que foi bastante complicado para a equipa conseguir ter os carros devidamente preparados para uma determinada prova. Essas situações deveram-se a diversos motivos, em que os mais comuns estão relacionados com fornecedores e com avarias não identificadas.

Relativamente aos fornecedores, vários atrasos foram provocados por atrasos destes. Estar dependente de terceiros para poder dar continuidade ao trabalho é sempre uma situação complicada, agravada pelo facto de a empresa trabalhar diretamente com entidades fora do país. Se até existem componentes que são possíveis adquirir a outro fornecedor, acelerando o processo de aquisição, outros têm de ser especificamente de uma determinada entidade. Esta situação ocorreu em corridas onde deu-se a colisão entre veículos, com a conseqüente necessidade de reparação e compra de novos componentes. Aqui coloca-se a hipótese da existência prévia em *stock*, prevenindo atrasos, no entanto, alguns destes componentes acarretam um valor de tal maneira avultado, que torna impensável a sua aquisição apenas para reserva.

Relativamente a avarias, é por vezes bastante complicado conseguir entender a causa de um determinado efeito visível. Fazendo uma comparação talvez não muito formal, mas certamente compreensível, pode-se afirmar que certas avarias são como algumas doenças raras, em que a consequência poderá aparentar uma causa simples, mas após verificação, percebe-se que não é essa causa comum que está a provocar tal falha. A figura 9 representa um destes casos, onde a equipa teve alguns problemas em encontrar a causa de um problema mecânico durante uma prova.



Figura 9: Imagem exemplificativa do trabalho de equipa em provas

Todos estes motivos, e outros, levam a uma necessidade obrigatória, em que tudo deve ser feito no menor tempo possível, de forma a garantir uma margem de erro, para estas possíveis falhas, evitando atrasos.

Não pondo claramente em causa a competência e experiência de todos os intervenientes da *Comval Racing*, é um facto adquirido que todos sabem o que, e como fazer. Antes de cada prova, todos os veículos estão sujeitos a um processo de manutenção, onde são verificados todos os componentes do mesmo, de forma a garantir que tudo estará em perfeitas condições e que todas as falhas que possam surgir, o que é perfeitamente normal no mundo da competição automóvel, não serão devido a erros de manutenção e revisão.

De forma a que nada falhe no processo de revisão e manutenção, todos os carros têm a sua própria folha de verificação. Com esta *checklist*, exemplificada na figura 10, os técnicos seguirão uma série de passos, que devem confirmar com um visto assim que esteja finalizada cada tarefa, de forma a que nada seja esquecido. A checklist completa pode ser visualizada no anexo 1.

		Nº do carro	
		Circuito	
		Data	
		Horas	
		Quilometragem	
		Suspensão dianteira	
		Spanner check	
Direção		Aperto das porcas de fixação	
Aperto dos parafusos da coluna		Pré-carga das molas	
Folga na coluna		Folga nas rótulas	
Obstruções ao desloc. da cremalheira		Inspeccionar defeitos nos triângulos	
Funcionamento do quick-release		Limpeza dos braços (WD-40)	
Inspeção de defeitos na coluna		Inspeção de mangas de eixo	
Inspeção de defeitos no volante		Limpeza de mangas de eixo (WD-40)	
		Rotação livre dos rolamentos das rodas	
		Lubrificar rolamentos das rodas	
Suspensão traseira		Aperto dos parafusos centrais do cubo	
Spanner check		Inspeccionar pushrod e ajustador de alt. ao solo	

Figura 10: Excerto da folha de manutenção para o Formula Ford

O problema desta folha de verificação é, tal como acima referido, não está estabelecida uma sequência definida de forma a que todo este procedimento esteja, a nível de tempo, otimizado, ou seja, que todo o processo de revisão do veículo seja finalizado no menor espaço de tempo possível. Aqui, coloca-se o problema do escalonamento de atividades.

Primeiro, será necessário estabelecer uma analogia entre o ambiente industrial de produção, com as atividades presentes na *Comval Racing*. Aqui, termos como “produção” ou “máquinas” não possuem o mesmo significado que o vulgarmente designado num ambiente industrial. Neste contexto, as máquinas serão referências às pessoas responsáveis pela manutenção e revisão dos veículos. Ou seja, duas máquinas paralelas independentes serão os dois técnicos mecânicos que fazem a revisão aos veículos.

Paralelamente, dado o problema em análise não se tratar propriamente da produção de carros, mas sim da sua manutenção, quando se aborda a produção em máquinas paralelas, será o equivalente à manutenção dos veículos por meio de dois técnicos especializados. Este paralelismo é representado na figura 11.

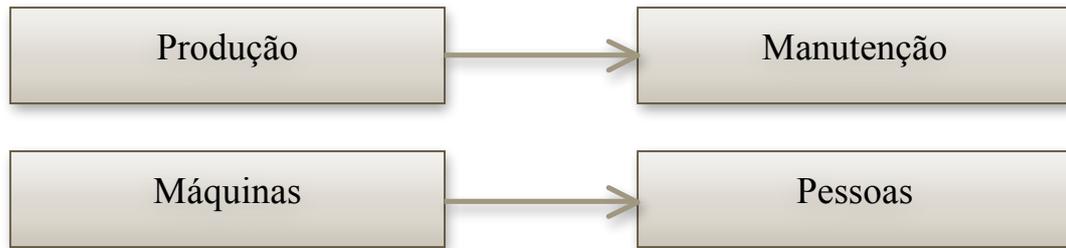


Figura 11: Diagrama representativo da analogia entre conceitos da indústria de produção e os empregues para a equipa de competição

Devem ser agora consideradas as técnicas abordadas no capítulo 2, onde estão presentes os fundamentos teóricos, de forma a enquadrar o problema e definir o melhor método a ser aplicado.

Devem ser expostas várias técnicas de resolução, de forma a perceber, com a aplicação de cada uma, qual a que alcançará um resultado mais otimizado consoante o que é pretendido. A aplicação de apenas um método poderá levar a uma solução que torne o processo de manutenção dos veículos mais rápida do que o atual, dado não estar estabelecido qualquer tipo de escalonamento, mas mesmo assim corremos o risco de não otimizar ao máximo todo o processo. Apenas com a comparação de várias soluções poder-se-á chegar a um resultado, que deverá ser considerado o de melhor aplicação para a empresa, em cada caso considerado.

O objetivo será, por isso, definir um escalonamento para a manutenção dos veículos, de forma a todo esse processo seja feito no menor tempo possível, e que haja a noção do instante exato em que serão finalizadas todas as tarefas de manutenção. Assim será possível à equipa, saber quanto tempo irão ocupar na verificação de todos os veículos, qual o instante que deve ser iniciado tal processo, qual o instante previsto de conclusão, considerando uma margem final para possíveis causas imprevistas.

4.3 Abordagem à Metodologia Proposta

Chegar a uma proposta final, de forma a definir claramente qual o melhor escalonamento das atividades realizadas na *Comval Racing*, não é um processo simples e linear como se possa pensar. Não basta pegar num conjunto de métodos considerados aceitáveis e ver qual o que produz o melhor resultado.

Tendo em conta que a manutenção dos veículos era feita seguindo apenas uma *checklist* de atividades, sem considerar qualquer tipo de ordenação das tarefas, e não existindo a certeza do

tempo necessário para a realização de cada uma, foi necessário iniciar todo um processo de recolha e análise de dados referentes à duração de cada tarefa singular.

Existem na *Comval Racing*, três classes em que os veículos podem ser inseridos, os protótipos, os *single seater*, e os *super7*. Estas três classes são representadas por três veículos distintos:

- *Juno*, para a classe dos protótipos;
- *Formula Ford*, para a classe dos *single seater*;
- *Westfield*, para a classe dos *super7*.

Partindo da premissa que todos os carros inseridos em cada classe são tecnicamente iguais e, conseqüentemente, são constituídos pelos mesmos componentes, é dado como facto adquirido que dois veículos que estejam alocados a uma mesma classe, possuem um tempo de manutenção igual.

Assim, tendo em conta as considerações acima expostas, foi iniciado o processo de recolha de dados de forma a retirar a duração exata de cada tarefa, para cada carro. A tabela 1 mostra um excerto dos tempos obtidos, tendo sido remetido para anexo 2 a tabela completa.

Tabela 1: Excerto dos tempos de manutenção registados por carro

Juno		Formula Ford		Westfield	
Transmissão	Tempo (min)	Transmissão	Tempo (min)	Transmissão	Tempo (min)
Setup da caixa de velocidades completo	60	Setup da caixa de velocidades completo	60		
Verificar funcionamento da alavanca	4	Verificar funcionamento da alavanca	4	Verificar funcionamento da alavanca	4
Verificar suporte do cabo de transmissão	1	Verificar suporte do cabo de transmissão	1	Inspeccionar driveshafts	20
Verificar porcas de aperto do cabo da transm.	1	Verificar porcas de aperto do cabo da transm.	1	Verificar aperto dos parafusos da transmissão	3
Inspeccionar cabo de mudança de velocidade	2	Inspeccionar cabo de mudança de velocidade	2	Verificar estado do arame dos parafusos	7
Inspeccionar driveshafts	20	Inspeccionar driveshafts	20	Acelerador, travões e sistema de embraiagem	
Verificar aperto dos parafusos da transmissão	3	Verificar aperto dos parafusos da transmissão	3	Inspeccionar defeitos nos discos	4
Verificar estado do arame dos parafusos	7	Verificar estado do arame dos parafusos	7	Limpeza dos travões e dos slots dos calços	5
Sistema de aceleração, travagem e embraiagem		Acelerador, travões e sistema de embraiagem		Inspeccionar pedaleira	1
Inspeccionar defeitos nos discos	4	Inspeccionar defeitos nos discos	4	Verificar calços	10
Limpeza dos travões e dos slots dos calços	5	Limpeza dos travões e dos slots dos calços	5	Sangrar travões	25
Verificar funcionamento da balance bar	1	Verificar funcionamento da balance bar	1	Aperto dos sangradores	4
Inspeccionar pedaleira	1	Inspeccionar pedaleira	1	Verificar níveis	3
Verificar calços	4	Verificar calços	4	Verificar desconexão ou folga da embraiagem	4
Verificar estado do arame dos parafusos	1	Verificar estado do arame dos parafusos	1	Verificar estado do arame dos parafusos	1

Tal como é possível observar na tabela 1, acima representada, para cada carro foi feita uma recolha dos tempos necessários à conclusão de cada tarefa específica. No final de uma prova ou evento em que cada um dos veículos tinha sido utilizado, foi cronometrada a duração exata do tempo que os técnicos precisam para concluir cada tarefa. Todos os valores retirados foram arredondados em excesso às unidades, uma vez que esta recolha de dados foi feita na presença dos técnicos aquando da sua atividade. Sabendo eles a finalidade desta recolha, tudo foi feito assertivamente, sem qualquer tipo de desvio ou distração. É normal que no trabalho diário, os operadores percam mais tempo na conclusão das tarefas, pelas mais variadas razões. Assim, o

arredondamento em excesso às unidades foi a forma mais lógica para considerar estes pequenos desvios.

Posteriormente verificou-se que não seria lógico fazer o escalonamento das tarefas para cada carro, considerando cada uma delas independentemente. Isto porque cada tarefa está intrínseca a um grupo, grupos técnicos, e não seria coerente sujeitar o operário a deslocar-se pelas várias zonas do carro durante a sua manutenção, conduzindo a um desperdício óbvio de tempo. Assim, como se pode observar na tabela 2, abaixo representada, foi somado o tempo recolhido para cada tarefa, em cada grupo, de forma a obter o valor que seria considerado para o escalonamento das atividades de manutenção objetivado. É possível visualizar todos os resultados no anexo 2.

Tabela 2: Amostra do agrupamento de tarefas e respetiva soma de tempos

Juno			Formula Ford	
Transmissão	Tempo (min)		Transmissão	Tempo (min)
Setup da caixa de velocidades completo	60	98	Setup da caixa de velocidades completo	60
Verificar funcionamento da alavanca	4		Verificar funcionamento da alavanca	4
Verificar suporte do cabo de transmissão	1		Verificar suporte do cabo de transmissão	1
Verificar porcas de aperto do cabo da transm.	1		Verificar porcas de aperto do cabo da transm.	1
Inspeccionar cabo de mudança de velocidade	2		Inspeccionar cabo de mudança de velocidade	2
Inspeccionar driveshafts	20		Inspeccionar driveshafts	20
Verificar aperto dos parafusos da transmissão	3		Verificar aperto dos parafusos da transmissão	3
Verificar estado do arame dos parafusos	7		Verificar estado do arame dos parafusos	7
Sistema de aceleração, travagem e embraiagem			Acelerador, travões e sistema de embraiagem	
Inspeccionar defeitos nos discos	4	92	Inspeccionar defeitos nos discos	4
Limpeza dos travões e dos slots dos calços	5		Limpeza dos travões e dos slots dos calços	5
Verificar funcionamento da balance bar	1		Verificar funcionamento da balance bar	1
Inspeccionar pedaleira	1		Inspeccionar pedaleira	1
Verificar calços	4		Verificar calços	4
Verificar pushrod locknuts	1		Sangrar travões	25
Sangrar travões	25		Aperto dos sangradores	4
Aperto dos sangradores	4		Sangrar sistema de embraiagem	6
Sangrar sistema de embraiagem	6		Verificar níveis	3
Verificar níveis	3		Verificar desconexão ou folga da embraiagem	4

De forma a alcançar o resultado pretendido, foram testados vários métodos de escalonamento da produção, com o intuito de verificar qual destes seria o mais eficaz. Nesse sentido, foi primeiro necessário escolher a ferramenta de cálculo, onde seriam introduzidos os dados e produzidos os resultados. Dadas as limitações a nível financeiro que alguns tipos de *software* acarretam, foram considerados aqueles aos quais seria possível ter acesso de forma gratuita. Com o aconselhamento e orientação de quem já está habituado a lidar com este tipo de problemas, o *software Lekin* tornou-se rapidamente a escolha mais óbvia. Dado o número limitado de sistemas de apoio ao escalonamento da produção disponíveis *online*, o *Lekin* apresenta uma vantagem considerável relativamente aos restantes. O facto de ter sido criado

sob a direção do professor Michael Pinedo e o professor Xiuli Chao, garantia a qualidade e segurança na utilização deste *software*. Ser um sistema que está disponível *online*, gratuitamente, que cobre os principais tipos de problemas de escalonamento da produção, que são passíveis de serem resolvidos através de um conjunto de métodos alternativos, principalmente heurísticos, levou à escolha do *Lekin* como a ferramenta eleita para resolver os problemas práticos desta dissertação.

Após ter sido selecionado o *software* de apoio à resolução dos problemas de escalonamento em estudo, foram formuladas diversas hipóteses possíveis de problemas. Como mostra o excerto do anexo 3, representado pela tabela 3, consideraram-se os três tipos de veículos em posse pela *Comval Racing*, e formuladas várias hipóteses relativamente ao número de carros aos quais seria feita manutenção após uma prova. Foram criados mais de trinta problemas diferentes, de forma a obter um nível de confiança de pelo menos 95%, obtendo um resultado estatisticamente válido para as conclusões a extrair.

Como nota, é importante referir que na formulação destas hipóteses, considerou-se um número maior de veículos relativamente àqueles que se encontram atualmente sob a alçada da empresa. Isto porque, com o número de veículos agora presentes não é possível chegar a um número suficiente de formulações de hipóteses diferentes que representem uma amostra estatisticamente significativa. Outra das razões é a probabilidade de crescimento da empresa, que aquando da sua evolução, o número de carros deverá também aumentar proporcionalmente. Assim, ficarão já consideradas hipóteses que poderão ser usadas no futuro.

Tabela 3: Hipóteses formuladas

	Juno	FormulaFord	Westfield
Problema 1	1	0	0
Problema 2	0	1	0
Problema 3	0	0	1
Problema 4	1	1	1
Problema 5	2	1	1
Problema 6	1	2	1
Problema 7	1	1	2
Problema 8	2	2	1
Problema 9	2	1	2
Problema 10	1	2	2
Problema 11	2	2	2
Problema 12	3	1	1
Problema 13	1	3	1
Problema 14	1	1	3
Problema 15	3	2	1
Problema 16	3	1	2
Problema 17	1	2	3
Problema 18	2	1	3
Problema 19	1	3	2

Após terem sido formulados os trinta e seis problemas relativamente ao número de carros aos quais deve ser feita manutenção após uma prova, procedeu-se à criação de uma matriz, para cada problema referido.

Na tabela 2, é possível ver o somatório, por grupo, das tarefas de manutenção para cada carro. Assim, considerando o parágrafo anterior, foi utilizada uma matriz para cada problema, onde seriam multiplicados, para cada carro, o número de veículos a considerar, com somatório do tempo de cada grupo.

A tabela 4, mostra uma matriz exemplificativa relativa ao problema número 25, onde é possível observar, pelos números assinalados a vermelho e a verde, dois exemplos de como é feita a relação entre a coluna a amarelo e as linhas a azul. Tendo em conta o segundo grupo de tarefas, coluna Op2, sabe-se que o *Juno* (J), para este grupo, precisa de um tempo de manutenção de 92 minutos, o *Formula Ford* (FF) de 91 minutos, e o *Westfield* (W) de 90 minutos. Considerando também a hipótese colocada, para este problema, de estarmos na presença de 3 *Junos*, 2 *Formula Ford* e 3 *Westfield*, devem-se efetuar os seguintes cálculos para o segundo grupo de tarefas:

- $3 \times 92 = 276$ minutos;
- $2 \times 91 = 182$ minutos;
- $3 \times 90 = 270$ minutos;
- $276 + 182 + 270 = 728$ minutos.

Resumidamente, o número relativo à quantidade de um determinado carro deve ser multiplicado pelo respetivo valor do tempo de manutenção em cada grupo de tarefas. Isto deve ser feito para os três carros e para todos os grupos de tarefas. Posteriormente, serão somados os tempos de manutenção em cada grupo, obtendo um valor final de tempo, para cada grupo de tarefas, consoante o número de carros considerados.

Tabela 4: Matriz de cálculo dos tempos totais por hipótese formulada

	Problema 25	Op1	Op2	Op3	Op4	Op5	Op6	Op7	Op8
J (min)	98	92	53	53	80	54	9	47	
FF (min)	98	91	52	52	57	54	7	47	
W (min)	34	90	37	37	53	52	7	47	
J (un)	3	294	276	159	159	240	162	27	141
FF (un)	2	196	182	104	104	114	108	14	94
W (un)	3	102	270	111	111	159	156	21	141
Total (min)	592	728	374	374	513	426	62	376	

Esta matriz foi aplicada a todos os trinta e seis problemas considerados, de forma a obter os tempos de manutenção total por cada grupo de tarefas. A tabela 5 representa um excerto da folha de cálculo utilizada, onde as linhas a roxo representam o total de tempo de manutenção para cada grupo de tarefas de cada problema, transcritos da última linha, também a roxo, das diversas matrizes de hipóteses, tal como exemplificado na tabela 4. Todos os valores obtidos estão presentes no anexo 4.

Tabela 5: Tempos totais obtidos por grupo para cada hipótese formulada

					Op1	Op2	Op3	Op4	Op5	Op6	Op7	Op8	
				J	98	92	53	53	80	54	9	47	
				FF	98	91	52	52	57	54	7	47	
				W	34	90	37	37	53	52	7	47	
	Juno	FormulaFord	Westfield										
Problema 1	1	0	0	→	P1	98	92	53	53	80	54	9	47
Problema 2	0	1	0	→	P2	98	91	52	52	57	54	7	47
Problema 3	0	0	1	→	P3	34	90	37	37	53	52	7	47
Problema 4	1	1	1	→	P4	230	273	142	142	190	160	23	141
Problema 5	2	1	1	→	P5	328	365	195	195	270	214	32	188
Problema 6	1	2	1	→	P6	328	364	194	194	247	214	30	188
Problema 7	1	1	2	→	P7	264	363	179	179	243	212	30	188
Problema 8	2	2	1	→	P8	426	456	247	247	327	268	39	235
Problema 9	2	1	2	→	P9	362	455	232	232	323	266	39	235

Na presença de todos os dados, relativos aos tempos de manutenção para cada hipótese formulada, necessários para aplicar os métodos de EP propostos, foi utilizado o *software Legin* com o intuito de obter os resultados objetivados e concluir qual a melhor solução a implementar.

Quando é iniciada a sessão no *Lekin*, por defeito, este pede para definir o tipo de problema presente, no qual foi escolhida a opção “*Parallel Machines*”. O passo seguinte é seleccionar o número de máquinas bem como o número de tarefas a serem distribuídas pelos dois processadores. Antes de definir os métodos a utilizar, é preciso ainda introduzir as tarefas a considerar, com a definição do seu tempo de processamento, assim como outros dados que possam ser relevantes. A figura 12, representa estes três passos iniciais.

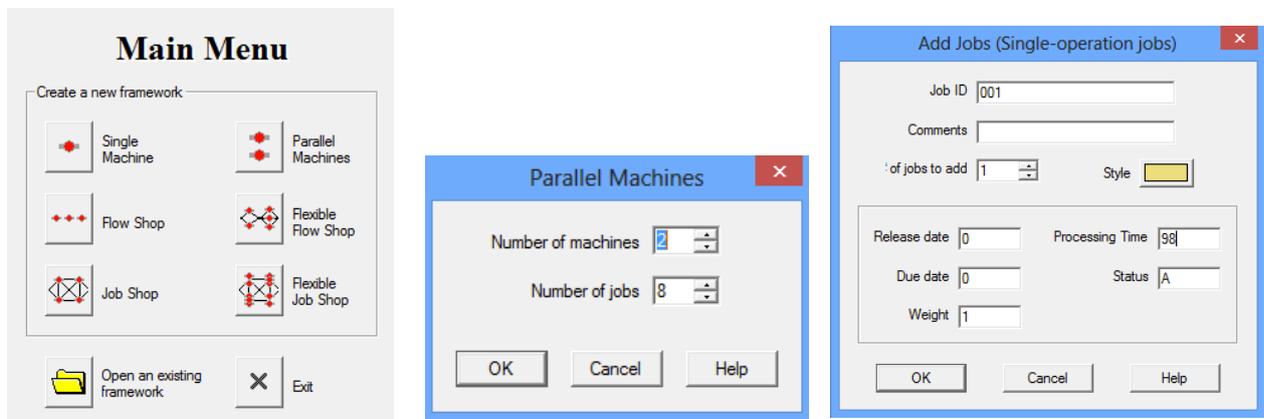


Figura 12: Três etapas iniciais para introdução de dados no *Lekin*

Após terem sido introduzidos todos os dados, foi definido o método a utilizar, figura 13. Aqui, foram seleccionados os métodos *General SB Routine*, algoritmo disponível no *Lekin*, o LPT e o SPT, com o intuito de analisar o desempenho para as diferentes medidas de desempenho. Esta seleção foi feita através de num conjunto de instâncias de problemas, que ocorrem num ambiente de máquinas paralelas idênticas. Estes métodos foram considerados relevantes neste tipo de exercícios dada a sua acessibilidade/disponibilidade, e por apresentarem um desempenho bastante bom na análise de problemas semelhantes.

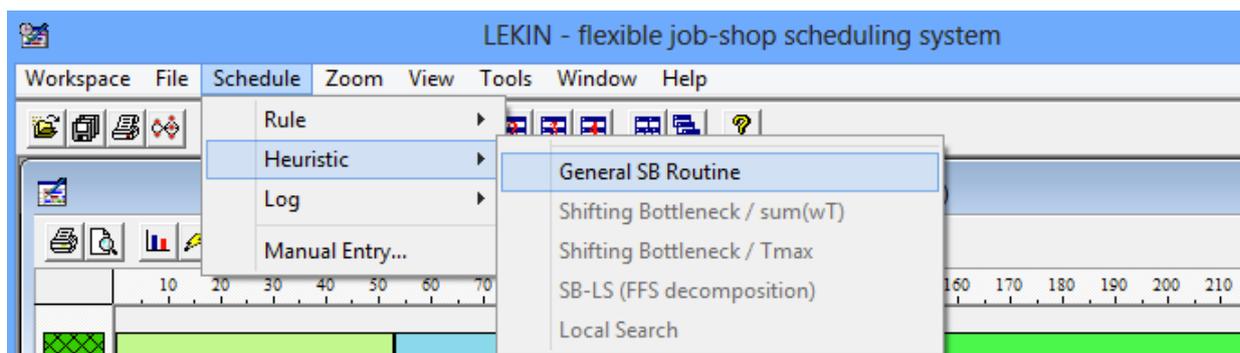


Figura 13: Exemplo de como seleccionar o método a aplicar no *Lekin*

Após ser introduzido o método e a respetiva função objetivo, seleciona-se através do menu inicial a opção “*Tools → Performance*”, onde surgia a janela relativa ao desempenho, figura 14, sendo possível observar o valor exato obtido na MD considerada. Neste exemplo, é possível observar o valor obtido, 243, na MD *makespan*, através da aplicação do *General SB Routine*, para a primeira hipótese formulada.

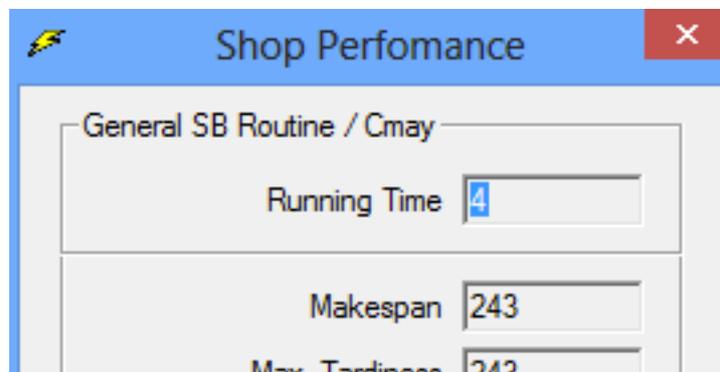


Figura 14: Janela de resultados no Legin

Este processo foi repetido para todas as 36 hipóteses, em que para cada hipótese foram aplicados os três métodos utilizados, e em cada método foram analisadas as duas medidas de desempenho consideradas.

4.4 Aplicação dos Métodos

Nesta secção é exposto um problema escolhido aleatoriamente de forma a comparar os diferentes resultados obtidos através da aplicação dos diferentes métodos.

Foi então selecionado o problema formulado número 7, onde são considerados para manutenção um *Juno*, um *Formula Ford*, e dois *Westfield*. A tabela 6 mostra todos os dados relativos a este problema. Na zona marcada a amarelo é possível observar o número de carros considerados, a azul os tempos de manutenção para cada carro, a vermelho o tempo de manutenção por carro, considerando a quantidade proposta, e a roxo o somatório dos tempos de manutenção total por operação.

Tabela 6: Matriz de cálculo dos tempos de manutenção totais para o problema 7

	Problema 7	Op1	Op2	Op3	Op4	Op5	Op6	Op7	Op8
J (min)	98	92	53	53	80	54	9	47	
FF (min)	98	91	52	52	57	54	7	47	
W (min)	34	90	37	37	53	52	7	47	
J (un)	1	98	92	53	53	80	54	9	47
FF (un)	1	98	91	52	52	57	54	7	47
W (un)	2	68	180	74	74	106	104	14	94
Total (min)	264	363	179	179	243	212	30	188	

4.4.1 Aplicação da regra SPT

Na presença de todos os dados necessários, pode-se então proceder à aplicação dos métodos de escalonamento, de forma a verificar qual produz os melhores resultados para as MD em análise. O primeiro método exposto é a regra SPT. Foram introduzidos os dados relativos aos tempos de manutenção totais e obtidos resultados através do *Lekin*. Como se pode ver na figura 15, com este método foi obtido um *makespan* de 973 minutos e um F_{total} de 3474 minutos. Pode-se também verificar que um dos trabalhadores ficou relativamente mais sobrecarregado que o outro.

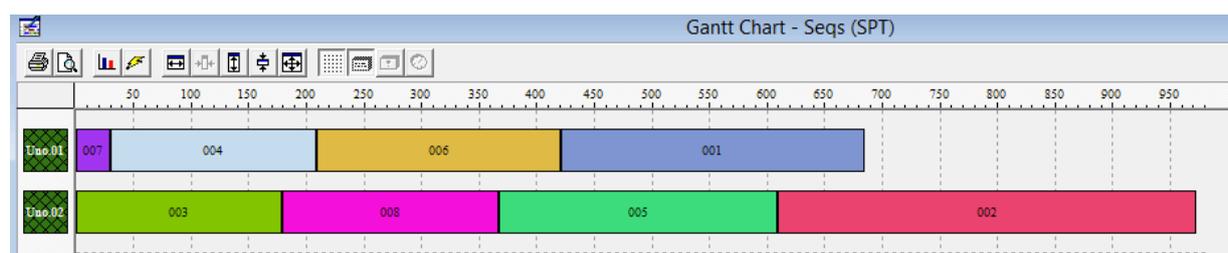


Figura 15: Gráfico de *Gantt* obtido pela aplicação do método SPT

4.4.2 Aplicação da regra LPT

Com os mesmo dados introduzidos, foi agora selecionado o método ou regra LPT de forma a observar como o *Lekin* iria organizar as tarefas. Obteve-se com isto um *makespan* de 874 minutos, e um F_{total} de 4816 minutos. Como se pode ver na figura 16, a diferença de tempo de conclusão das tarefas entre os dois trabalhadores reduziu relativamente à utilização do método anterior.



Figura 16: Gráfico de *Gantt* obtido pela aplicação do método LPT

4.4.3 Aplicação do GSBR

Na aplicação do *General SB Routine* além de ser selecionado o método deve também ser escolhida qual a medida de desempenho a otimizar. Isto deve ser feito uma vez que o *Lekin* estabelece um escalonamento das tarefas diferente consoante a MD definida.

A figura 17 mostra os resultados obtidos através do método GSBR, considerando o *makespan* como a MD a otimizar. Aqui foi obtido o valor de 834 minutos.

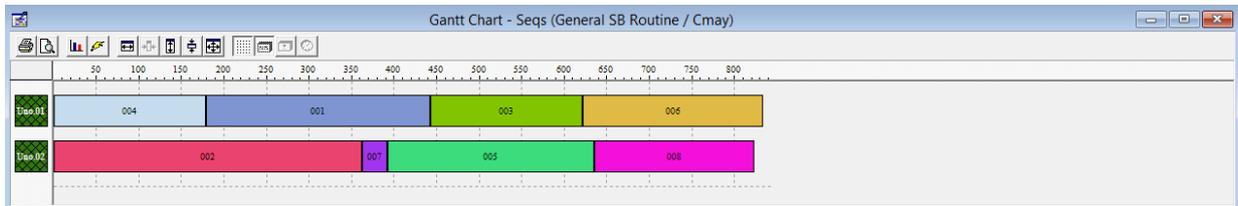


Figura 17: Gráfico de *Gantt* obtido pela aplicação do método GSBR, considerando o *makespan*

A figura 18 mostra o escalonamento resultante do mesmo método considerado na figura anterior, mas objetivando uma otimização do tempo total de produção. Aqui, obteve-se um valor, para a MD referida de 3474 minutos.

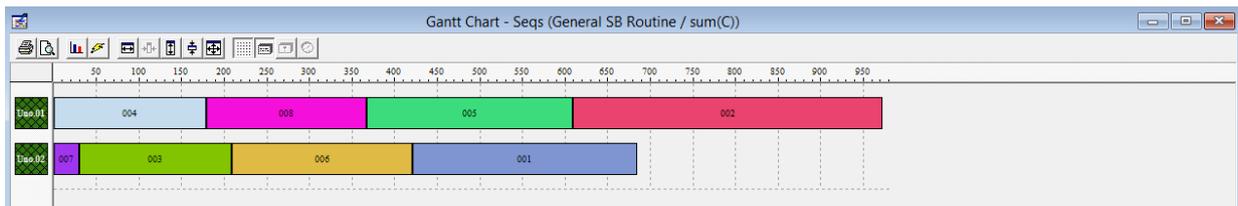


Figura 18: Gráfico de *Gantt* obtido pela aplicação do método GSBR, considerando o tempo total de produção

4.4.4 Generalização do caso de estudo

A aplicação dos métodos de escalonamento foram aplicados a todos as 36 hipóteses formuladas de forma a obter várias amostras relativas às MD em análise e assim poder-se concluir qual o métodos mais eficaz neste tipo de problemas.

A tabela 7 representa um excerto do anexo 5, onde estão presentes os valores obtidos com a utilização do *Lekin*.

Tabela 7: Resultados obtidos para as medidas de desempenho, através da aplicação dos três métodos

	General SB Routine		SPT		LPT	
	Makespan	Ftotal	Makespan	Ftotal	Makespan	Ftotal
P1	243	1000	278	1000	252	1430
P2	236	939	254	939	247	1351
P3	179	727	213	727	181	1058
P4	655	2711	746	2711	703	3794
P5	899	3711	1018	3711	962	5224
P6	880	3650	993	3650	957	5145
P7	834	3474	973	3474	874	4816
P8	1128	4650	1265	4650	1206	6575
P9	1083	4480	1245	4480	1152	6240
P10	1059	4418	1220	4418	1128	6162
P11	1310	5422	1492	5422	1406	7588

Apenas foi analisada a medida de desempenho do makespan (C_{max}) para fins de estudo generalizado, para comparação do desempenho dos 3 métodos (GRSB, SPT e LPT), tendo sido considerada “a distância para o melhor makespan”, do conjunto dos 36 problemas analisados e com 95% de confiança é possível concluir que o desempenho dos 3 métodos analisados foi diferente, tendo-se verificado que: o GRSB foi o que apresentou melhor desempenho relativamente à medida do makespan, seguindo-se o LPT e por último o SPT. Tal pode ser verificado nos anexos 6 e 7, relativos aos resultados obtidos com o uso do SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) onde estão presentes a estatística descritiva e a análise de inferência estatística, respetivamente.

4.5 Análise de Resultados

Com todos os métodos aplicados e todas hipóteses formuladas devidamente resolvidas, é finalmente possível analisar o comportamento das duas medidas de desempenho consideradas e analisar os resultados obtidos através da aplicação dos diferentes métodos.

De forma a se poder observar convenientemente os gráficos de resultados, optou-se por representar apenas os 15 primeiros problemas, sendo remetidos para anexo os gráficos completos (Anexo 8 e 9)

O objetivo primário proposto para esta dissertação, seria utilizar diferentes métodos de escalonamento de forma a analisar qual destes produz um melhor resultado, na medida em que se pretende que todas as tarefas sejam distribuídas pelos dois trabalhadores de forma a que estejam concluídas o mais rapidamente possível. Considerando a premissa anterior, o *makespan* seria a medida de desempenho mais óbvia para fundamentar a escolha, no entanto, um método poderá ser o mais apropriado para uma das MD e não tanto para outra. Assim, sempre com o *makespan* como referência principal, considerou-se também o F_{total} de forma a ter pelo menos duas medidas para comparação.

Os resultados obtidos, não fugiram muito ao espectável. Comparando inicialmente os métodos LPT e SPT seria espectável que o primeiro produzisse melhores resultados que o segundo uma vez que deixando as tarefas de menor duração para o final, será mais fácil chegar a um equilíbrio no que à ocupação dos trabalhadores diz respeito, sendo por isso espetável também que o *makespan* seja menor. Na observação do gráfico da figura 19, onde é possível ver o histograma dos primeiros quinze problemas propostos, o *makespan* obtido com a utilização do método LPT é sempre menor relativamente ao uso do SPT. No anexo 8 é possível observar o histograma completo.

A maior dúvida residia no método GSBR, dado que este, apesar de ter sido abordado muito superficialmente, nunca tinha sido aprofundado e empregue em exercícios no contexto de qualquer unidade curricular ao longo do Metrado em Engenharia e Gestão Industrial. No entanto, dado ser um algoritmo disponível no *Lekin*, e com uma complexidade superior para aplicação manual relativamente aos métodos SPT e LPT, julgou-se que a aplicação deste iria resultar num escalonamento das atividades mais equilibrado e consequentemente, num valor de *makespan* mais reduzido. Esta suposição foi confirmada na obtenção dos resultados. Como se pode observar no gráfico abaixo representado, em todos os problemas propostos, o *makespan* obtido com a utilização do método GSBR é sempre o menor dos três métodos.

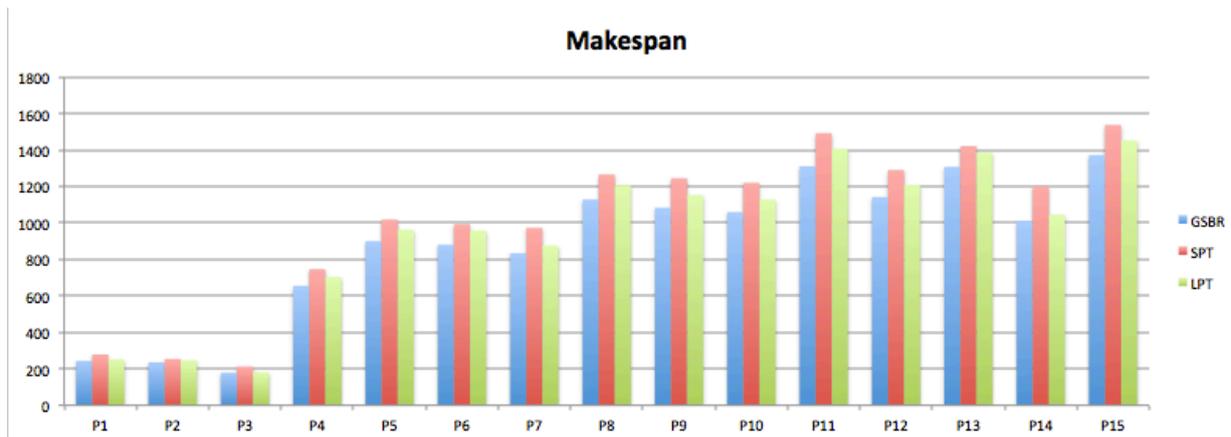


Figura 19: Histograma representativo dos resultados obtidos pela aplicação dos três métodos, para o *makespan*

Tal como foi acima referido, considerou-se também o valor obtido do F_{total} , de forma a analisar o comportamento dos diferentes métodos nesta MD. Para esta medida, os resultados não foram coincidentes com os obtidos para o *makespan*.

Como se pode verificar na figura 20, onde estão novamente presentes os 15 primeiros resultados, estando o resto presente no anexo 9, o método LPT é claramente o menos eficaz na otimização do tempo total de produção. Na análise dos 36 problemas propostos, a utilização do LPT foi a que levou sempre a um valor mais elevado para esta MD. Relativamente aos restantes métodos, GSBR e SPT, o resultado foi ao encontro do esperado e do que se poderia inicialmente pensar. Com o objetivo de otimizar o F_{total} , a aplicação do GSBR e do SPT levaram sempre a um valor exatamente igual para cada um dos problemas. Como se pode verificar pela observação da figura abaixo representada, os métodos GSBR e SPT, apresentam um valor para o F_{total} bastante inferior ao LPT. Na comparação dos dois métodos que conduziram a melhores resultados para a MD considerada, dado que levam a valores exatamente iguais, poder-se-á optar pelo método que seja mais conveniente ou de mais fácil uso à empresa.

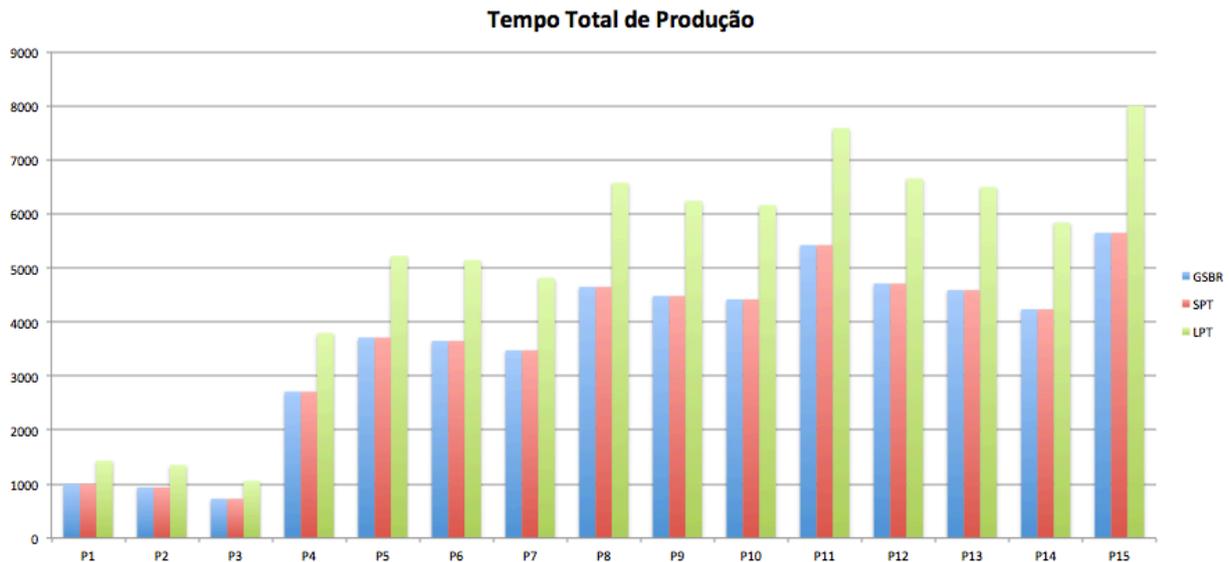


Figura 20: Histograma representativo dos resultados obtidos pela aplicação dos três métodos para o tempo total de produção

Pela análise dos dois gráficos, referentes ao *makespan* e ao tempo total de produção, conclui-se que o método GSBR será o mais indicado perante o objetivo proposto. Considerando o *makespan*, o GSBR é claramente o método que produz melhores resultados, dado que é aquele que permite que a última tarefa tenha o valor de duração mais baixo. Mesmo sendo um método de resolução manual mais difícil comparativamente ao SPT e LPT, com o apoio do *Lekin* é relativamente simples introduzir os valores e obter os resultados da aplicação do GSBR.

De forma a ter uma noção do tempo otimizado com a utilização do método GSBR, comparou-se o valor do *makespan* obtido com este método para cada hipótese, com os dois outros métodos considerados. Verificou-se que com a aplicação do GSBR relativamente ao SPT existe uma otimização significativa do instante em que é terminada a última tarefa, tendo sido registados valores desde 7% a 16% inferiores. Comparativamente ao LPT, os valores registados entre os dois métodos não apresentam uma diferença tão grande relativamente ao caso anterior, mas mesmo assim, o GSBR continua a apresentar valores melhores, com resultados entre os 2% e 8% mais baixos.

No caso do tempo total de produção, é normal que a diferença percentual seja maior dado que estamos na presença de valores de ordem bastante diferente. No primeiro caso, dado que os valores registados de F_{total} entre os métodos GSBR e SPT são sempre os mesmos para todas as hipóteses, a diferença percentual será sempre 0%. Na comparação do GSBR com o LPT, é clara a vantagem na utilização do primeiro método referido, com valores percentualmente mais baixos entre 27% e 32%.

Pode-se afirmar corretamente que, tendo em conta os resultados obtidos no que ao tempo total de produção diz respeito, o método SPT pode ser o escolhido. A sua fácil aplicação é uma vantagem em relação ao GSR, no entanto, dados os valores referentes ao *makespan*, este último apresenta clara vantagem.

Os resultados globais relativos à análise estatística, quer em termos de estatística descritiva quer em termos de inferência estatística estão expressos no anexo 10.

5. CONCLUSÃO

Chegado o final desta dissertação, pode-se afirmar que os objetivos propostos inicialmente foram alcançados, tendo-se chegado a valores capazes de produzir resultados válidos e assim, retiradas as devidas ilações.

A nível teórico, os métodos utilizados para resolver os problemas de escalonamento considerados, produziram resultados satisfatórios, dentro do que seria espectável. É admissível que poderiam ter sido propostos mais métodos de resolução, com o intuito de obter um maior leque de comparação, no entanto, dada a natureza do trabalho e os resultados conseguidos, tal não foi necessário. O mesmo poderá ser dito relativamente às medidas de desempenho analisadas, mas considerou-se que tal poderia levar à dispersão dos resultados objetivados. A nível prático, foram formuladas um número de hipóteses mais que suficientes de forma a sustentar os resultados obtidos.

Pela análise de resultados, apresentada no capítulo 4, conclui-se que, de forma a minimizar ao máximo o tempo de manutenção dos carros, independentemente da quantidade em questão, a utilização do algoritmo disponível no *software Lekin, General SB Routine* será a escolha mais correta. Este define um escalonamento de atividades que produz resultados bastante satisfatórios, e mais baixos a nível de tempo relativamente aos restantes. Outra das vantagens observadas é que os dois trabalhadores finalizam as suas tarefas praticamente ao mesmo tempo, não deixando grandes tempos de espera entre eles.

Como todo e qualquer trabalho, ao longo desta dissertação, algumas dificuldades tiveram de ser enfrentadas e superadas. Inicialmente, a analogia entre a produção numa indústria normal e o trabalho de manutenção de uma equipa de competição foi algo difícil de interiorizar. Foi também complicado encontrar alguns conceitos necessários à parte teórica deste trabalho.

No futuro, seria interessante explorar a aplicação de outros métodos, nomeadamente meta-heurísticos ou outros métodos heurísticos, bem como usar outras medidas de desempenho para uma análise mais exaustiva do caso de estudo numa perspetiva de expansão futura da empresa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRESEN, M., BRASEL, H., ENGELHARDT, F. & WERNER, F. 2010. *LISA - A Library of Scheduling Algorithms*, Magdeburg.

(<http://adm.esobre.com/planejamento-estrategico-ttico-operacional>)

BATISTA, D. M., DA FONSECA, N. L. & MIYAZAWA, F. K. Escalonadores de Tarefas em Grades. Anais do XXVI Congresso da Sociedade Brasileira de Computação–V Wperformance, 2006. 73-92.

BATUR, G. D., KARASAN, O. E. & AKTURK, M. S. 2012. Multiple part-type scheduling in flexible robotic cells. *International Journal Production Economics*, 135, 726–740.

BLAZEWICZ, J., DOMSCHKE, W. & PESCH, E. 1996. The job shop scheduling problem: Conventional and new solution techniques. *European journal of operational research*, 93, 1-33.

BŁAŻEWICZ, J., ECKER, K. H., PESCH, E., SCHMIDT, G. & WĘGLARZ, J. 2001. Scheduling in Flow and Open Shops. *Scheduling Computer and Manufacturing Processes*. Springer Berlin Heidelberg.

BŁAŻEWICZ, J., MACHOWIAK, M., WĘGLARZ, J., KOVALYOV, M. Y. & TRYSTRAM, D. 2004. Scheduling Malleable Tasks on Parallel Processors to Minimize the Makespan. *Annals of Operations Research*, 129, 65-80.

BRUCKER, P. 2007. *Scheduling Algorithms*, Osnabruck.

CARVALHO, J. D., “Textos de apoio à Unidade Curricular de Organização de Sistemas de Produção II”, Publicação Interna do Departamento de Produção e Sistemas, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, 2000

CHEN, J. 2009. Scheduling on unrelated parallel machines with sequence- and machine-dependent setup times and due-date constraints. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 44, 1204-1212.

CHENG, T. C. E., JI, M. & HE, Y. 2007. Single-machine scheduling with periodic maintenance to minimize makespan. *Computers & Operations Research*, 34, 1764–1770.

CONWAY, R. W., MAXWELL, W. L. & MILLER, L. W. 2003. *Theory of Scheduling*, New York.

GUO, Y., LIM, A., RODRIGUES, B. & YO, S. 2004. Minimizing total flow time in single machine environment with release time: an experimental analysis. *Computers & Industrial Engineering*, 47, 123-140.

JENNINGS, N. & WOOLDRIDGE, M. J. 1998. *Agent Technology: Foundations, Applications, and Markets*, London.

MACCARTHY, B. L. & WILSON, J. R. 2001. *Human Performance in Planning and Scheduling*, London.

MORGAN, G. 1997. *Imaginization: New Mindsets For Seeing, Organizing And Managing*, San Francisco.

MORTON, T. E. & PENTICO, D. W. 1993. *Heuristic Scheduling Systems*, USA.

(<http://neos-guide.org/>)

PAVNASKAR, S. J., GERSHENSON, J. K. & JAMBEKAR, A. B. 2003. Classification scheme for lean manufacturing tools. *International Journal of Production Research*, 41, 3075-3090.

PINEDO, M. L. 2012. *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems*, New York.

RABELO, R. J. & KLEN, A. A. 2000. ESCALONAMENTO COOPERATIVO INTERORGANIZACIONAL. *Gestão & Produção*, 7, 226-246.

RAVINDRAN, D., HAQ, A. N., SELVAKUAR, S. J. & SIVARAMAN, R. 2005. Flow shop scheduling with multiple objective of minimizing makespan and total flow time. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 25, 1007–1012.

(<http://riot.ieor.berkeley.edu/>)

SAUNDERS, M., LEWIS, P. & THORNHILL, A. 2009. *Research Methods for Business Students*, London.

SILVA, S. C., “Textos de apoio à Unidade Curricular de Planeamento e Controlo da Produção”, Publicação Interna do Departamento de Produção e Sistemas, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, 2010

T'KINDT, V., BILLAUT, J.-C., BOUQUARD, J.-L., LENTÉ, C., MARTINEAU, P., NÉRON, E., PROUST, C. & TACQUARD, C. 2005. The e-OCEA project: towards an Internet decision system for scheduling problems. *Decision Support Systems*, 40, 329-337.

VARELA, M. L. 2007. *Uma Contribuição para o Escalonamento da Produção baseado em Métodos Globalmente Distribuídos*. Doutorado, Universidade Do Minho.

6. ANEXOS

6.1 Anexo I – Checklist de manutenção



Lista de verif. Pré-evento

Nº do carro	
Circuito	
Data	
Horas	
Quilometragem	

Direção	
Aperto dos parafusos da coluna	
Folga na coluna	
Obstruções ao desloc. da cremalheira	
Funcionamento do quick-release	
Inspeção de defeitos na coluna	
Inspeção de defeitos no volante	

Suspensão traseira	
Spanner check	
Aperto das porcas de fixação	
Pré-carga das molas	
Folga nas rótulas	
Inspeccionar defeitos nos triângulos	
Limpeza dos braços (WD-40)	
Inspeção de mangas de eixo	
Limpeza de mangas de eixo (WD-40)	
Rotação livre dos rolamentos das rodas	
Lubrificar rolamentos das rodas	
Aperto dos parafusos centrais do cubo	
Inspeccionar p.rod e ajustador de altura ao solo	
Inspeccionar bell cranks	
Inspeccionar ARB traseira	

Transmissão	
Setup da caixa de velocidades completo	
Verificar funcionamento da alavanca	
Verificar suporte do cabo de transmissão	
Verificar porcas de aperto do cabo da transm.	
Inspeccionar cabo de mudança de velocidade	
Inspeccionar driveshafts	
Verificar aperto dos parafusos da transmissão	
Verificar estado do arame dos parafusos	

Suspensão dianteira	
Spanner check	
Aperto das porcas de fixação	
Pré-carga das molas	
Folga nas rótulas	
Inspeccionar defeitos nos triângulos	
Limpeza dos braços (WD-40)	
Inspeção de mangas de eixo	
Limpeza de mangas de eixo (WD-40)	
Rotação livre dos rolamentos das rodas	
Lubrificar rolamentos das rodas	
Aperto dos parafusos centrais do cubo	
Inspeccionar pushrod e ajustador de alt. ao solo	
Inspeccionar bell cranks	
Inspeccionar ARB frontal	

Sistema de aceleração, travagem e embraiagem	
Inspeccionar defeitos nos discos	
Limpeza dos travões e dos slots dos calços	
Verificar funcionamento da balance bar	
Inspeccionar pedaleira	
Verificar calços	
Sangrar travões	
Aperto dos sangradores	
Sangrar sistema de embraiagem	
Verificar níveis	
Verificar desconexão ou folga da embraiagem	
Verificar dureza dos pedais	
Verificar o aperto de todas as uniões	
Verificar fugas em todas as uniões	
Verificar curso do acelerador	
Verificar retorno e limpar acel. (WD-40)	
Inspeccionar cabo e terminais do acelerador	
Inspeccionar danos nas linhas de travão e embr.	

Sistema elétrico	
Verificar funcionamento do alternador	
Bateria carregada, tensão verificada	
Correia da bateria apertada	
Cablagem verificada	
Todos os interruptores funcionam	
Bom funcionamento do master switch	
Inspeccionar terminais da bateria e fêmeas	
Verificar ligações ao starter	
Inspeccionar todos os terminais dos cabos	
Luzes principais OK	
Luzes de chuva OK	
Luzes traseiras OK	
Indicadores OK	
Verificar rádio; verificar se necessário	
Verificar funcionamento do dash board	

Variados	
Extintor carregado	
Ligações do extintor verificadas	
Inspeccionar rodas - limpar jantes	
Inspeccionar pneus	
Verificar carroçaria	
Verificar fechos da carroçaria	
Inspeccionar fêmeas das jantes	
Verificar funcionamento da tampa do depósito	
Aperitos dos parafusos da chash box	
Espelhos bem apertados	
Parafusos dos cintos bem apertados	

Motor	
Verificar nível do óleo do motor	
Aperto da tampa do óleo do motor	
Verificar suportes das bombas de água/óleo	
Verificar todas as linhas de óleo e uniões	
Radiator cores checked for damage	
Verificar coletores de escape (fendas)	
Molas/aramé do escape bem colocados	
Verificar apoios do radiador de óleo	
Verificar nível de água e aperto da tampa	
Esvaziar o tanque acumulador de óleo	
Ligar o motor, verificar a exist. de fugas	
Verificar filtro de ar	

Responsável:	
Data de finalização:	
Hora de finalização:	
Verificado por:	

Notas adicionais:

Partes e consumíveis usados

Número da peça	Descrição	Quantid.	Motivo

6.2 Anexo II – Tempos de manutenção

Juno

Transmissão

Setup da caixa de velocidades completo	60	
Verificar funcionamento da alavanca	4	
Verificar suporte do cabo de transmissão	1	
Verificar porcas de aperto do cabo da transm.	1	
Inspeccionar cabo de mudança de velocidade	2	98
Inspeccionar driveshafts	20	
Verificar aperto dos parafusos da transmissão	3	
Verificar estado do arame dos parafusos	7	

Sistema de aceleração, travagem e embraiagem

Inspeccionar defeitos nos discos	4	
Limpeza dos travões e dos slots dos calços	5	
Verificar funcionamento da balance bar	1	
Inspeccionar pedaleira	1	
Verificar calços	4	
Verificar pushrod locknuts	1	
Sangrar travões	25	
Aperto dos sangradores	4	
Sangrar sistema de embraiagem	6	
Verificar níveis	3	92
Verificar desconexão ou folga da embraiagem	4	
Verificar dureza dos pedais	1	
Verificar o aperto de todas as uniões	15	
Verificar fugas em todas as uniões	5	
Verificar curso do acelerador	1	
Verificar retorno e limpar acel. (WD-40)	1	
Inspeccionar cabo e terminais do acelerador	1	
Inspeccionar danos nas linhas de travão e embr.	10	

Suspensão dianteira

Spanner check	15	
Aperto das porcas de fixação	7	
Pré-carga das molas	2	
Folga nas rótulas	3	
Inspeccionar defeitos nos triângulos	1	
Limpeza dos braços (WD-40)	5	
Inspeção de mangas de eixo	1	
Limpeza de mangas de eixo (WD-40)	2	53
Rotação livre dos rolamentos das rodas	2	
Lubrificar rolamentos das rodas	3	
Aperto dos parafusos centrais do cubo	4	

Aperto dos pernos de guiamento das jantes	1	
Inspeccionar pushrod e ajustador de altura ao solo	4	
Inspeccionar bell cranks	2	
Inspeccionar ARB frontal	1	
Suspensão traseira		
Spanner check	15	
Aperto das porcas de fixação	7	
Pré-carga das molas	2	
Folga nas rótulas	3	
Inspeccionar defeitos nos triângulos	1	
Limpeza dos braços (WD-40)	5	
Inspeção de mangas de eixo	1	
Limpeza de mangas de eixo (WD-40)	2	53
Rotação livre dos rolamentos das rodas	2	
Lubrificar rolamentos das rodas	3	
Aperto dos parafusos centrais do cubo	4	
Aperto dos pernos de guiamento das jantes	1	
Inspeccionar p.rod e ajustador de altura ao solo	4	
Inspeccionar bell cranks	2	
Inspeccionar ARB traseira	1	
Vários		
Extintor carregado	1	
Ligações do extintor verificadas	2	
Inspeccionar rodas - limpar jantes	20	
Inspeccionar pneus	3	
Verificar carroçaria	10	
Verificar fechos da carroçaria	7	
Verificar parafusos do fundo	17	80
Verificar estrutura e parafusos da asa traseira	6	
Inspeccionar fêmeas das jantes	4	
Verificar funcionamento da tampa do depósito	1	
Apertos dos parafusos da chash box	4	
Espelhos bem apertados	2	
Parafusos dos cintos bem apertados	3	
Motor		
Verificar nível do óleo do motor	7	
Aperto da tampa do óleo do motor	1	
Verificar suportes das bombas de água/óleo	2	
Verificar todas as linhas de óleo e uniões	15	
Radiator cores checked for damage	2	
Verificar coletores de escape (fendas)	3	
Molas/arame do escape bem colocados	3	54
Verificar apoios do radiador de óleo	2	
Verificar nível de água e aperto da tampa	1	

Esvaziar o tanque acumulador de óleo	4	
Ligar o motor, verificar a exist. de fugas	10	
Verificar filtro de ar	4	
Direção		
Aperto dos parafusos da coluna	1	
Folga na coluna	1	
Posicionamento dos parafusos da caixa	1	
Aperto correto dos parafusos da crem.	1	9
Obstruções ao desloc. da cremalheira	1	
Funcionamento do quick-release	1	
Inspeção de defeitos na coluna	1	
Inspeção de defeitos no volante	2	
Sistema elétrico		
Verificar funcionamento do alternador	3	
Bateria carregada, tensão verificada	2	
Correia da bateria apertada	1	
Cablagem verificada	15	
Todos os interruptores funcionam	3	
Bom funcionamento do master switch	1	
Inspeccionar terminais da bateria e fêmeas	2	
Verificar ligações ao starter	2	47
Inspeccionar todos os terminais dos cabos	5	
Luzes principais OK	2	
Luzes de chuva OK	2	
Luzes traseiras OK	2	
Indicadores OK	2	
Verificar rádio; verificar se necessário	2	
Verificar funcionamento do dash board	3	

Formula Ford

Transmissão

Setup da caixa de velocidades completo	60	
Verificar funcionamento da alavanca	4	
Verificar suporte do cabo de transmissão	1	
Verificar porcas de aperto do cabo da transm.	1	
Inspeccionar cabo de mudança de velocidade	2	98
Inspeccionar driveshafts	20	
Verificar aperto dos parafusos da transmissão	3	
Verificar estado do arame dos parafusos	7	

Acelerador, travões e sistema de embraiagem

Inspeccionar defeitos nos discos	4	
Limpeza dos travões e dos slots dos calços	5	
Verificar funcionamento da balance bar	1	
Inspeccionar pedaleira	1	
Verificar calços	4	
Sangrar travões	25	
Aperto dos sangradores	4	
Sangrar sistema de embraiagem	6	
Verificar níveis	3	91
Verificar desconexão ou folga da embraiagem	4	
Verificar dureza dos pedais	1	
Verificar o aperto de todas as uniões	15	
Verificar fugas em todas as uniões	5	
Verificar curso do acelerador	1	
Verificar retorno e limpar acel. (WD-40)	1	
Inspeccionar cabo e terminais do acelerador	1	
Inspeccionar danos nas linhas de travão e embr.	10	

Suspensão dianteira

Spanner check	15	
Aperto das porcas de fixação	7	
Pré-carga das molas	2	
Folga nas rótulas	3	
Inspeccionar defeitos nos triângulos	1	
Limpeza dos braços (WD-40)	5	
Inspeção de mangas de eixo	1	52
Limpeza de mangas de eixo (WD-40)	2	
Rotação livre dos rolamentos das rodas	2	
Lubrificar rolamentos das rodas	3	
Aperto do parafuso central do cubo	4	
Inspeccionar pushrod e ajustador de altura ao solo	4	

Inspecionar bell cranks	2	
Inspecionar ARB frontal	1	
Suspensão traseira		
Spanner check	15	
Aperto das porcas de fixação	7	
Pré-carga das molas	2	
Folga nas rótulas	3	
Inspecionar defeitos nos triângulos	1	
Limpeza dos braços (WD-40)	5	
Inspecção de mangas de eixo	1	52
Limpeza de mangas de eixo (WD-40)	2	
Rotação livre dos rolamentos das rodas	2	
Lubrificar rolamentos das rodas	3	
Aperto do parafuso central do cubo	4	
Inspecionar p.rod e ajustador de altura ao solo	4	
Inspecionar bell cranks	2	
Inspecionar ARB traseira	1	
Vários		
Extintor carregado	1	
Ligações do extintor verificadas	2	
Inspecionar rodas - limpar jantes	20	
Inspecionar pneus	3	
Verificar carroçaria	10	
Verificar fechos da carroçaria	7	57
Inspecionar fêmeas das jantes	4	
Verificar funcionamento da tampa do depósito	1	
Apertos dos parafusos da crash box	4	
Espelhos bem apertados	2	
Parafusos dos cintos bem apertados	3	
Motor		
Verificar nível do óleo do motor	7	
Aperto da tampa do óleo do motor	1	
Verificar suportes das bombas de água/óleo	2	
Verificar todas as linhas de óleo e uniões	15	
Radiator cores checked for damage	2	
Verificar coletores de escape (fendas)	3	54
Molas/aramé do escape bem colocados	3	
Verificar apoios do radiador de óleo	2	
Verificar nível de água e aperto da tampa	1	
Esvaziar o tanque acumulador de óleo	4	
Ligar o motor, verificar a exist. de fugas	10	
Verificar filtro de ar	4	
Direção		
Aperto dos parafusos da coluna	1	

Folga na coluna	1	
Obstruções ao desloc. da cremalheira	1	
Funcionamento do quick-release	1	7
Inspeção de defeitos na coluna	1	
Inspeção de defeitos no volante	2	
Sistema elétrico		
Verificar funcionamento do alternador	3	
Bateria carregada, tensão verificada	2	
Correia da bateria apertada	1	
Cablagem verificada	15	
Todos os interruptores funcionam	3	
Bom funcionamento do master switch	1	
Inspeccionar terminais da bateria e fêmeas	2	
Verificar ligações ao starter	2	47
Inspeccionar todos os terminais dos cabos	5	
Luzes principais OK	2	
Luzes de chuva OK	2	
Luzes traseiras OK	2	
Indicadores OK	2	
Verificar rádio; verificar se necessário	2	
Verificar funcionamento do dash board	3	

Westfield

Transmissão

Verificar funcionamento da alavanca	4	
Inspecionar driveshafts	20	
Verificar aperto dos parafusos da transmissão	3	34
Verificar estado do arame dos parafusos	7	
Acelerador, travões e sistema de embraiagem		
Inspecionar defeitos nos discos	4	
Limpeza dos travões e dos slots dos calços	5	
Inspecionar pedaleira	1	
Verificar calços	10	
Sangrar travões	25	
Aperto dos sangradores	4	
Verificar níveis	3	
Verificar desconexão ou folga da embraiagem	4	90
Verificar dureza dos pedais	1	
Verificar o aperto de todas as uniões	15	
Verificar fugas em todas as uniões	5	
Verificar curso do acelerador	1	
Verificar retorno e limpar acel. (WD-40)	1	
Inspecionar cabo e terminais do acelerador	1	
Inspecionar danos nas linhas de travão e embr.	10	
Suspensão dianteira		
Spanner check	15	
Folga nas rótulas	3	
Inspecionar defeitos nos triângulos	1	
Limpeza dos braços (WD-40)	5	
Inspeção de mangas de eixo	1	37
Limpeza de mangas de eixo (WD-40)	2	
Rotação livre dos rolamentos das rodas	2	
Lubrificar rolamentos das rodas	3	
Aperto do parafuso central do cubo	4	
Inspecionar ARB frontal	1	
Suspensão traseira		
Spanner check	15	
Folga nas rótulas	3	
Inspecionar defeitos nos triângulos	1	
Limpeza dos braços (WD-40)	5	
Inspeção de mangas de eixo	1	37
Limpeza de mangas de eixo (WD-40)	2	

Rotação livre dos rolamentos das rodas	2	
Lubrificar rolamentos das rodas	3	
Aperto do parafuso central do cubo	4	
Inspecionar ARB traseira	1	
Vários		
Extintor carregado	1	
Ligações do extintor verificadas	2	
Inspecionar rodas - limpar jantes	20	
Inspecionar pneus	3	
Verificar carroçaria	10	53
Verificar fechos da carroçaria	7	
Inspecionar fêmeas das jantes	4	
Verificar funcionamento da tampa do depósito	1	
Espelhos bem apertados	2	
Parafusos dos cintos bem apertados	3	
Motor		
Verificar nível do óleo do motor	7	
Aperto da tampa do óleo do motor	1	
Verificar todas as linhas de óleo e uniões	15	
Radiator cores checked for damage	2	
Verificar coletores de escape (fendas)	3	
Molas/aramé do escape bem colocados	3	52
Verificar apoios do radiador de óleo	2	
Verificar nível de água e aperto da tampa	1	
Esvaziar o tanque acumulador de óleo	4	
Ligar o motor, verificar a exist. de fugas	10	
Verificar filtro de ar	4	
Direção		
Aperto dos parafusos da coluna	1	
Folga na coluna	1	
Obstruções ao desloc. da cremalheira	1	
Funcionamento do quick-release	1	7
Inspecção de defeitos na coluna	1	
Inspecção de defeitos no volante	2	
Sistema elétrico		
Verificar funcionamento do alternador	3	
Bateria carregada, tensão verificada	2	
Correia da bateria apertada	1	
Cablagem verificada	15	
Todos os interruptores funcionam	3	
Bom funcionamento do master switch	1	
Inspecionar terminais da bateria e fêmeas	2	
Verificar ligações ao starter	2	47
Inspecionar todos os terminais dos cabos	5	
Luzes principais OK	2	
Luzes de chuva OK	2	
Luzes traseiras OK	2	
Indicadores OK	2	
Verificar rádio; verificar se necessário	2	
Verificar funcionamento do dash board	3	

6.3 Anexo III – Formulação de hipóteses

	Juno	FormulaFord	Westfield
Problema 1	1	0	0
Problema 2	0	1	0
Problema 3	0	0	1
Problema 4	1	1	1
Problema 5	2	1	1
Problema 6	1	2	1
Problema 7	1	1	2
Problema 8	2	2	1
Problema 9	2	1	2
Problema 10	1	2	2
Problema 11	2	2	2
Problema 12	3	1	1
Problema 13	1	3	1
Problema 14	1	1	3
Problema 15	3	2	1
Problema 16	3	1	2
Problema 17	1	2	3
Problema 18	2	1	3
Problema 19	1	3	2
Problema 20	2	3	1
Problema 21	3	2	2
Problema 22	2	3	2
Problema 23	2	2	3
Problema 24	3	3	2
Problema 25	3	2	3
Problema 26	2	3	3
Problema 27	3	3	3
Problema 28	4	1	1
Problema 29	1	4	1
Problema 30	1	1	4
Problema 31	4	1	2
Problema 32	4	2	1
Problema 33	1	4	2
Problema 34	2	4	1
Problema 35	1	2	4
Problema 36	2	1	4

6.4 Anexo IV – Resultados dos tempos de manutenção para cada hipótese

	Op1	Op2	Op3	Op4	Op5	Op6	Op7	Op8
P1	98	92	53	53	80	54	9	47
P2	98	91	52	52	57	54	7	47
P3	34	90	37	37	53	52	7	47
P4	230	273	142	142	190	160	23	141
P5	328	365	195	195	270	214	32	188
P6	328	364	194	194	247	214	30	188
P7	264	363	179	179	243	212	30	188
P8	426	456	247	247	327	268	39	235
P9	362	455	232	232	323	266	39	235
P10	362	454	231	231	300	266	37	235
P11	460	546	284	284	380	320	46	282
P12	426	457	248	248	350	268	41	235
P13	426	455	246	246	304	268	37	235
P14	298	453	216	216	296	264	37	235
P15	524	548	300	300	407	322	48	282
P16	460	547	285	285	403	320	48	282
P17	396	544	268	268	353	318	44	282
P18	396	545	269	269	376	318	46	282
P19	460	545	283	283	357	320	44	282
P20	524	547	299	299	384	322	46	282
P21	558	638	337	337	460	374	55	329
P22	558	637	336	336	437	374	53	329
P23	494	636	321	321	433	372	53	329
P24	656	729	389	389	517	428	62	376
P25	592	728	374	374	513	426	62	376
P26	592	727	373	373	490	426	60	376
P27	690	819	426	426	570	480	69	423
P28	524	549	301	301	430	322	50	282
P29	524	546	298	298	361	322	44	282
P30	332	543	253	253	349	316	44	282
P31	558	639	338	338	483	374	57	329
P32	622	640	353	353	487	376	57	329
P33	558	636	335	335	414	374	51	329
P34	622	638	351	351	441	376	53	329
P35	430	634	305	305	406	370	51	329
P36	430	635	306	306	429	370	53	329

6.5 Anexo V – Resultados obtidos para as medidas de desempenho por método

	General SB Routine		SPT		LPT	
	Makespan	Ftotal	Makespan	Ftotal	Makespan	Ftotal
P1	243	1000	278	1000	252	1430
P2	236	939	254	939	247	1351
P3	179	727	213	727	181	1058
P4	655	2711	746	2711	703	3794
P5	899	3711	1018	3711	962	5224
P6	880	3650	993	3650	957	5145
P7	834	3474	973	3474	874	4816
P8	1128	4650	1265	4650	1206	6575
P9	1083	4480	1245	4480	1152	6240
P10	1059	4418	1220	4418	1128	6162
P11	1310	5422	1492	5422	1406	7588
P12	1142	4711	1290	4711	1208	6654
P13	1307	4589	1420	4589	1384	6496
P14	1011	4236	1200	4236	1045	5839
P15	1372	5650	1537	5650	1452	8005
P16	1318	5483	1517	5483	1430	7667
P17	1250	5180	1447	5180	1299	7185
P18	1252	5242	1472	5242	1323	7263
P19	1287	5361	1467	5361	1382	7509
P20	1353	5589	1512	5589	1450	7926
P21	1555	6422	1764	6422	1678	9018
P22	1531	6361	1739	6361	1660	8939
P23	1494	6186	1719	6186	1577	8609
P24	1774	7361	2011	7361	1922	10369
P25	1729	7192	1991	7192	1855	10033
P26	1714	7130	1966	7130	1831	9955
P27	1965	8133	2238	8133	2109	11382
P28	1385	5711	1562	5711	1454	8084
P29	1352	5528	1487	5528	1448	7847
P30	1189	4981	1410	4981	1216	6879
P31	1563	6483	1789	6483	1680	9097
P32	1567	6650	1719	6650	1608	9435
P33	1523	6300	1714	6300	1636	8860
P34	1589	6134	1759	6134	1694	8976
P35	1420	5942	1674	5942	1470	8208
P36	1434	6004	1699	6004	1494	8286

6.6 Anexo VI – Estatística descritiva obtida com o uso do SPSS

Frequências

Notes		
Output Created		04-AUG-2014 16:20:57
Comments		
Input	Active Dataset	DataSet0
	Filter	<none>
	Weight	<none>
	Split File	Metodo Utilizado
	N of Rows in Working Data File	108
Missing Value Handling	Definition of Missing	User-defined missing values are treated as missing.
	Cases Used	Statistics are based on all cases with valid data.
Syntax		FREQUENCIES VARIABLES=Distnacia /FORMAT=NOTABLE /STATISTICS=STDDEV VARIANCE MEAN MEDIAN /ORDER=ANALYSIS.
Resources	Processor Time	00:00:00,00
	Elapsed Time	00:00:00,00

Método 1 = GSBR

Statistics^a

Distancia para o Makespan Optimo

N	Valid	36
	Missing	0
Mean		,00
Median		,00
Std. Deviation		,000
Variance		,000

Método 2 = SPT

Statistics^a

Distancia para o Makespan Optimo

N	Valid	36
	Missing	0
Mean		172,94
Median		178,50
Std. Deviation		63,708
Variance		4058,683

Método 3 = LPT

Statistics^a

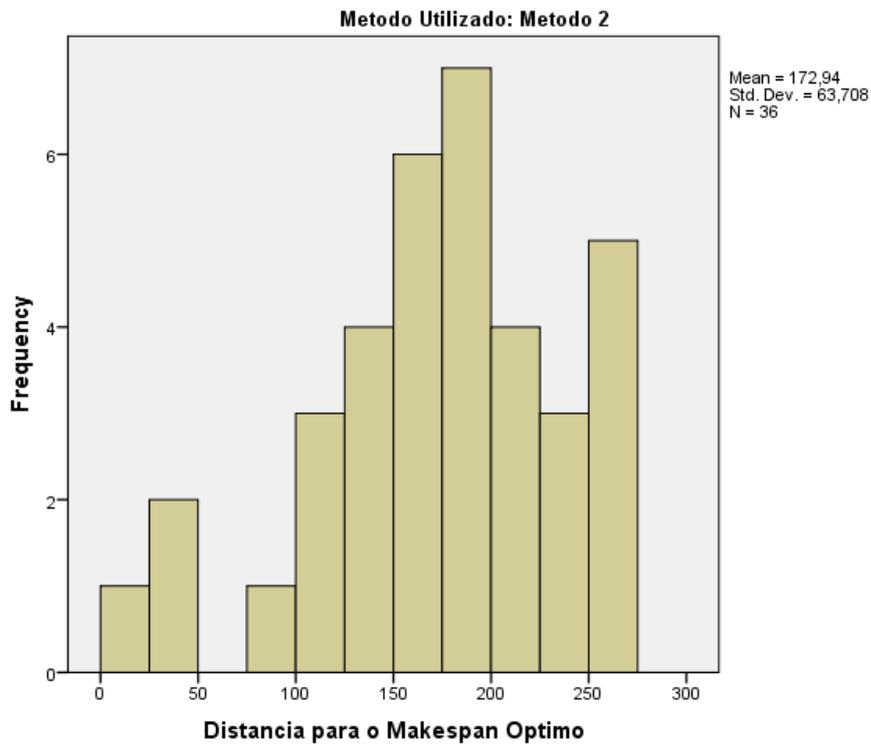
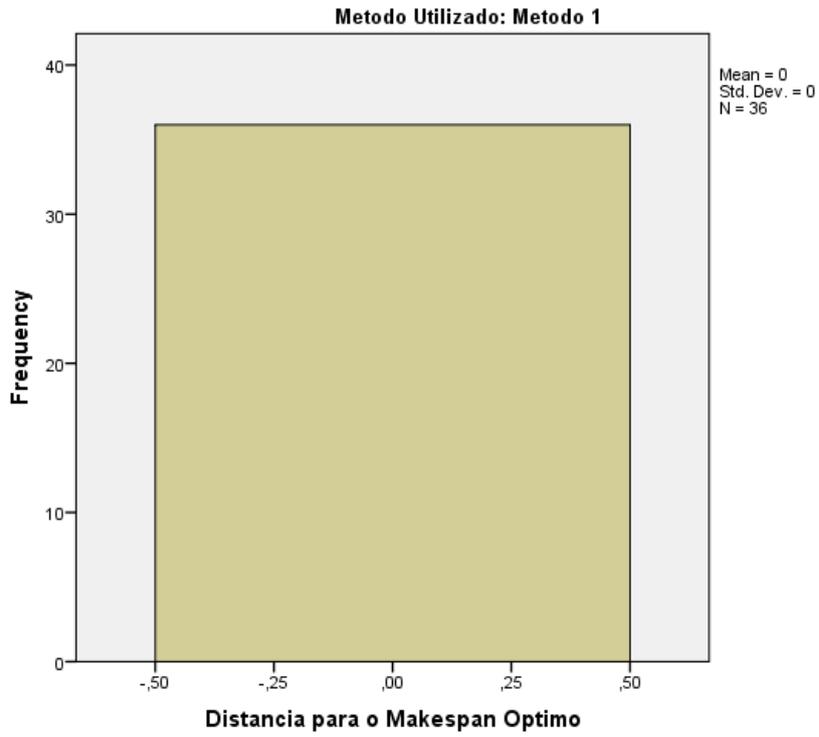
Distancia para o Makespan Optimo

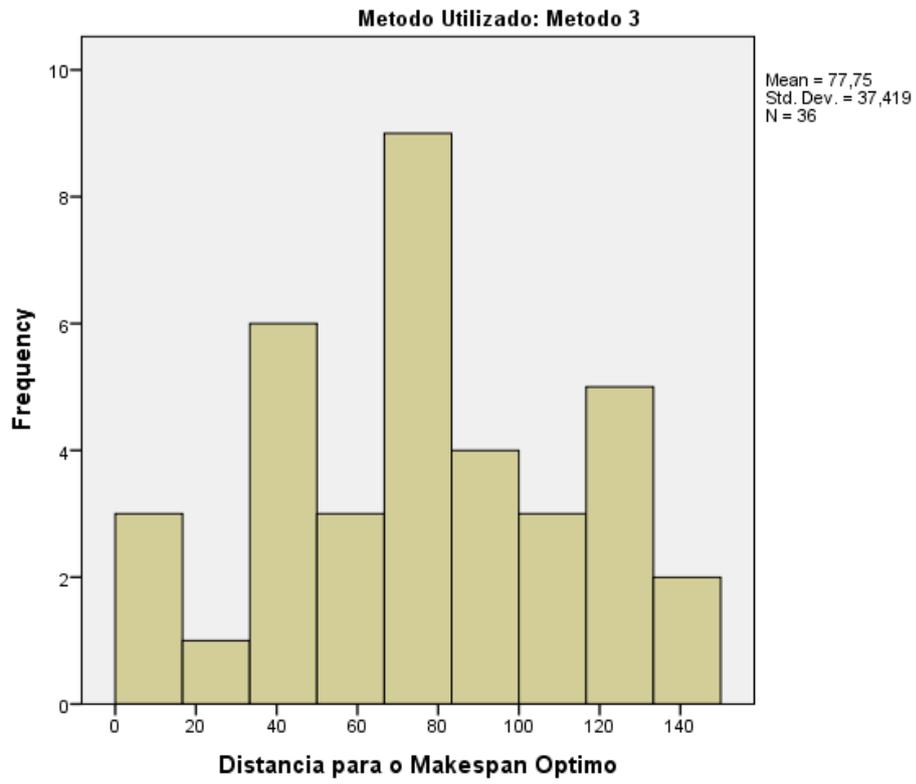
N	Valid	36
	Missing	0
Mean		77,75
Median		77,00
Std. Deviation		37,419
Variance		1400,193

Gráficos

Notes

Output Created	04-AUG-2014 16:21:30	
Comments		
Input	Active Dataset	DataSet0
	Filter	<none>
	Weight	<none>
	Split File	Metodo Utilizado
	N of Rows in Working Data File	108
Syntax	GRAPH /HISTOGRAM=Distnacia.	
Resources	Processor Time	00:00:03,09
	Elapsed Time	00:00:03,39





6.7 Anexo VII – Análise de inferência estatística obtida com o uso do SPSS

Notes

Output Created		04-AUG-2014 16:23:29
Comments		
Input	Active Dataset	DataSet0
	Filter	<none>
	Weight	<none>
	Split File	<none>
	N of Rows in Working Data File	108
Missing Value Handling	Definition of Missing	User-defined missing values for dependent variables are treated as missing.
	Cases Used	Statistics are based on cases with no missing values for any dependent variable or factor used.
Syntax		EXAMINE VARIABLES=Distnacia BY Metodo /PLOT=BOXPLOT /STATISTICS=NONE /NOTOTAL.
Resources	Processor Time	00:00:00,34
	Elapsed Time	00:00:00,36

Warnings

Distancia para o Makespan Optimo is constant when Metodo Utilizado = Metodo 1. It will be included in any boxplots produced but other output will be omitted.

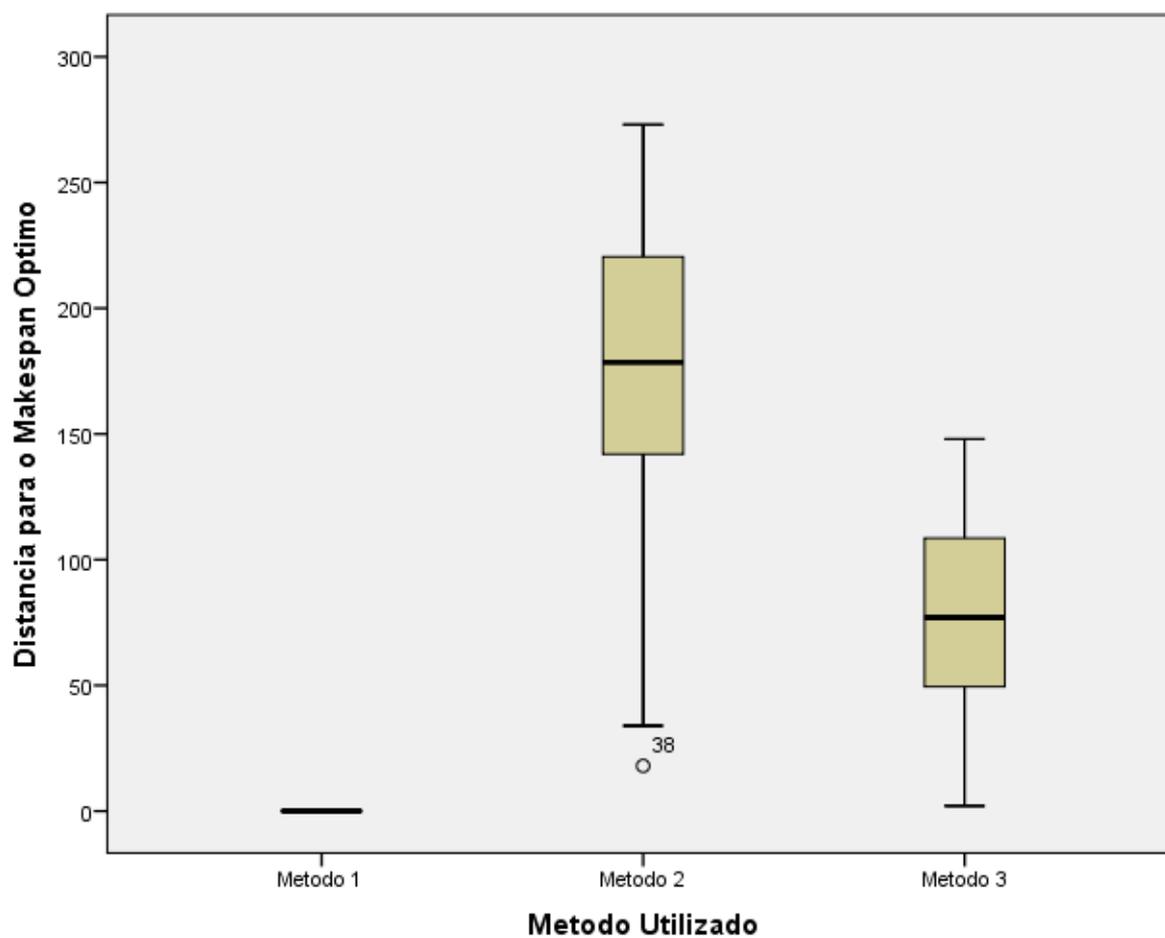
Case Processing Summary

		Cases		
		Valid		Missing
		N	Percent	N
Distancia para o Makespan Optimo	Metodo 1	36	100,0%	0
	Metodo 2	36	100,0%	0
	Metodo 3	36	100,0%	0

Case Processing Summary

		Cases		
		Missing	Total	
		Percent	N	Percent
Distancia para o Makespan Optimo	Metodo 1	0,0%	36	100,0%
	Metodo 2	0,0%	36	100,0%
	Metodo 3	0,0%	36	100,0%

Distância para o Makespan Ótimo



Oneway

Notes

Output Created	04-AUG-2014 16:24:59	
Comments		
Input	Active Dataset	DataSet0
	Filter	<none>
	Weight	<none>
	Split File	<none>
Missing Value Handling	N of Rows in Working Data File	108
	Definition of Missing	User-defined missing values are treated as missing.
	Cases Used	Statistics for each analysis are based on cases with no missing data for any variable in the analysis.
Syntax	ONEWAY Distnacia BY Metodo /MISSING ANALYSIS /POSTHOC=SCHEFFE ALPHA(0.05).	
Resources	Processor Time	00:00:00,02
	Elapsed Time	00:00:00,05

ANOVA

Distancia para o melhor makespan

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	540201,907	2	270100,954	148,438	,000
Within Groups	191060,639	105	1819,625		
Total	731262,546	107			

Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Distancia para o melhor makespan

Scheffe

(I) Metodo Utilizado	(J) Metodo Utilizado	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
Metodo 1	Metodo 2	-172,944*	10,054	,000
	Metodo 3	-77,750*	10,054	,000
Metodo 2	Metodo 1	172,944*	10,054	,000
	Metodo 3	95,194*	10,054	,000
Metodo 3	Metodo 1	77,750*	10,054	,000
	Metodo 2	-95,194*	10,054	,000

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Distancia para o melhor makespan

Scheffe

(I) Metodo Utilizado		(J) Metodo Utilizado		95% Confidence Interval	
				Lower Bound	Upper Bound
Metodo 1	Metodo 2	-197,91	-147,98		
	Metodo 3	-102,72	-52,78		
Metodo 2	Metodo 1	147,98	197,91		
	Metodo 3	70,23	120,16		
Metodo 3	Metodo 1	52,78	102,72		
	Metodo 2	-120,16	-70,23		

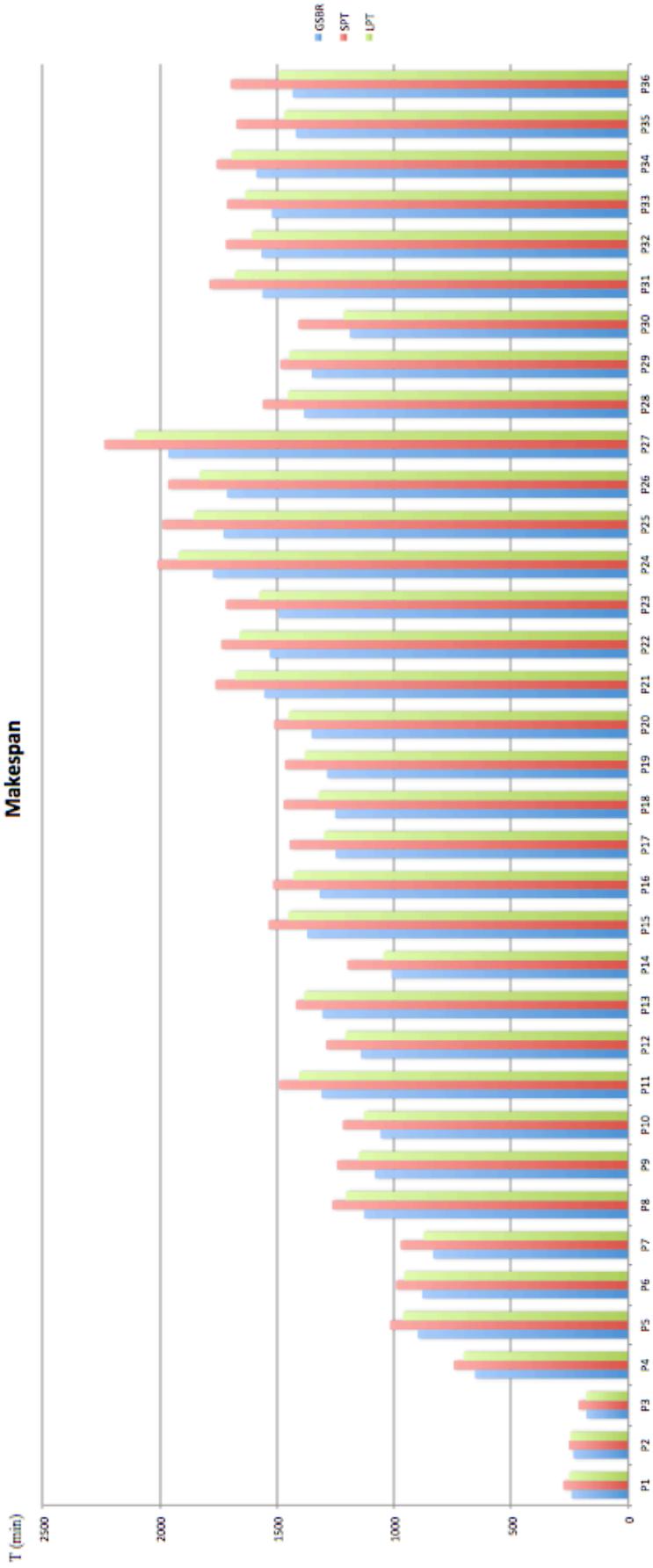
Homogeneous Subsets

Distancia para o melhor makespan

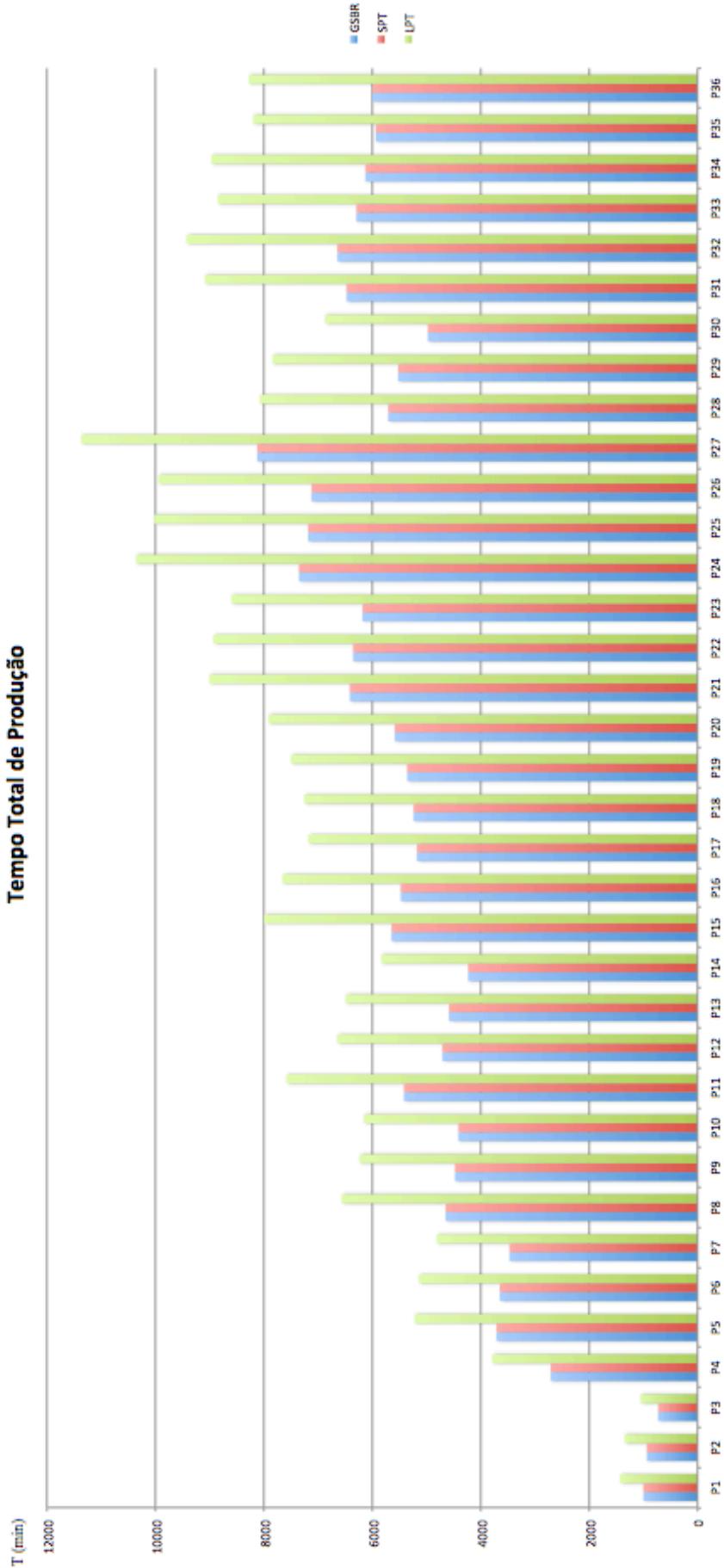
Scheffe^a

Metodo Utilizado	N	Subset for alpha = 0.05		
		1	2	3
Metodo 1	36	,00		
Metodo 3	36		77,75	
Metodo 2	36			172,94
Sig.		1,000	1,000	1,000

6.8 Anexo VIII – Histograma de resultados para o *makespan*



6.9 Anexo IX - Histograma de resultados para o tempo total de produção



6.10 Anexo X – Diferença percentual entre resultados obtidos pela aplicação dos métodos

Makespan	Ftotal	Makespan	Ftotal
GSBR-SPT	GSBR-SPT	GSBR-LPT	GSBR-LPT
13%	0%	4%	30%
7%	0%	4%	30%
16%	0%	1%	31%
12%	0%	7%	29%
12%	0%	7%	29%
11%	0%	8%	29%
14%	0%	5%	28%
11%	0%	6%	29%
13%	0%	6%	28%
13%	0%	6%	28%
12%	0%	7%	29%
11%	0%	5%	29%
8%	0%	6%	29%
16%	0%	3%	27%
11%	0%	6%	29%
13%	0%	8%	28%
14%	0%	4%	28%
15%	0%	5%	28%
12%	0%	7%	29%
11%	0%	7%	29%
12%	0%	7%	29%
12%	0%	8%	29%
13%	0%	5%	28%
12%	0%	8%	29%
13%	0%	7%	28%
13%	0%	6%	28%
12%	0%	7%	29%
11%	0%	5%	29%
9%	0%	7%	30%
16%	0%	2%	28%
13%	0%	7%	29%
9%	0%	3%	30%
11%	0%	7%	29%
10%	0%	6%	32%
15%	0%	3%	28%
16%	0%	4%	28%