UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MURILO MELHADO BALDI

Proposta de um procedimento de programação da produção estruturado a partir das particularidades do fluxo de produção de um sistema de manufatura celular

São Carlos
2017

MURILO MELHADO BALDI

Proposta de um procedimento de programação da produção estruturado a partir das particularidades do fluxo de produção de um sistema de manufatura celular

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestrado no Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Produção

Orientador: Prof. Dr. Walther Azzolini Junior

São Carlos
2017

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

xxxx

Baldi, Murilo Melhado

Proposta de um procedimento de programação da produção estruturado a partir das particularidades do fluxo de produção de um sistema de manufatura celular / Murilo Melhado Baldi; orientador Prof. Doutor Walther Azzolini Junior. São Carlos, 2017.

Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Área de Concentração em Processos e Gestão de Operações – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2017.

1. Sistemas de Planejamento Avançados. 2. Capacidade Finita. 3. Planejamento e Programação da Produção. 4. Setor Automotivo.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **MURILO MELHADO BALDI**.

Título da dissertação: "Proposta de um modelo de programação estruturada a partir das particularidades do fluxo de produção de um sistema de manufatura celular".

Data da defesa: 20/10/2017.

Comissão Julgadora:

Resultado:

Prof. Dr. **Walther Azzolini Junior**
(Orientador)
[Escola de Engenharia de São Carlos/EESC]

Aprovado

Prof. Dr. **Fábio Ferraz Junior**
(Universidade do Araraquara/UNIARA)

Aprovado

Prof. Dr. **José de Souza Rodrigues**
(Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"/UNESP - Bauri)

Aprovado

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção:
Prof. Associado **Aldo Roberto Ometto**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Associado **Luís Fernando Costa Alberto**

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer imensamente a todos que contribuíram diretamente, ou indiretamente, para o desenvolvimento e posterior realização deste trabalho. Em especial, gostaria de agradecer aos meus familiares pelo apoio (psicológico e financeiro), aos meus amigos e colegas de pós-graduação pelo suporte, e a meu orientador, o Prof. Dr. Walther Azzolini Junior pela oportunidade de pesquisa e todo o suporte oferecido durante o curso.

Além destes, sou muito grato à Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP) e ao Departamento de Engenharia de Produção, pelas condições e infraestruturas concedidas a mim, incluindo toda a equipe de funcionários, a qual me auxiliou nesta jornada. Ademais, sou muito grato ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento da pesquisa, por meio de bolsa de estudo.

RESUMO

BALDI, M. B. **Proposta de um procedimento de programação da produção estruturado a partir das particularidades do fluxo de produção de um sistema de manufatura celular.** 2017. 218 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

A proposta de um procedimento de programação da produção, estruturado a partir das particularidades do fluxo de produção de um sistema de manufatura celular, descrita neste trabalho, é resultado do processo de investigação da relação do uso de ferramentas computacionais, especialistas em programação da produção, envolvendo práticas de controle de estoque no abastecimento de um sistema de manufatura celular. Deste modo, o conteúdo deste trabalho trata das principais restrições inerentes a relação entre os diferentes parâmetros e variáveis do processo de fabricação deste tipo de sistema, os quais interferem diretamente na eficácia e eficiência de um sistema de programação da produção, além de enfatizar os resultados efetivos que podem ser alcançados com o uso de um *software* APS, assim como uma lógica de programação, com ênfase na minimização do *Lead Time Offsetting*. Neste contexto, além do resultado efetivo que este trabalho demonstra, a partir do uso de um sistema de programação da produção em um ambiente de manufatura celular, há, inerentemente, o destaque à relevância do tema de pesquisa, estudado na literatura, devido ao crescente aumento da complexidade dos sistemas produtivos e, conseqüentemente, da dificuldade de análises mais precisas do impacto que as variáveis de fluxo, como por exemplo, tempos de abastecimento e movimentação, tempos de *setup* e os respectivos roteiros de fabricação, podem causar no desempenho dos processos no chão de fábrica. Quanto ao método de pesquisa o estudo aborda o tema, quanto à aplicação de um modelo de programação da produção estruturado, com base no escopo da proposta, através de um estudo de caso de uma empresa fornecedora de componentes do setor de automotivo, envolvendo pesquisa de campo com acesso a documentos do processo de fabricação e da estrutura de materiais do *mix* de produtos relacionados, além do contato direto com os atores do processo de fabricação a partir de reuniões periódicas durante o processo de concepção do procedimento. A partir da construção do modelo de programação, cenários são gerados de modo a comparar a performance dos mesmos em um ambiente produtivo real, sendo realizadas alterações de variáveis no fluxo produtivo, a fim de obter resultados interessantes e satisfatórios, utilizando-se de parâmetros como tamanho de lote e *makespan* como indicadores de performance.

Palavras-chave: Sistemas de Planejamento Avançados; Capacidade Finita; APS; Planejamento e Programação da Produção; Setor Automotivo; Relacionamento entre Fornecedores.

ABSTRACT

BALDI, M. B. **Proposal of a production programming procedure based on particularities of a cell manufacturing system's production flow.** 2017. 218 p. Dissertation (Master's Degree in Industrial Engineering). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

The proposal of a production programming procedure, built from the particularities of a cellular manufacturing system's production flow, described in this work, is the result of a investigation process about the relation of using computational tools, specialized in production programming, involving practices of inventory control in a supply system of a manufacturing cell. Thus, the content of this work deals with the main constraints inherent in the relationship between different parameters and variables of the manufacturing process, regarding this type of production system, that directly interferes in the efficiency of a production scheduling system, emphasizing the effective results that can be achieved through the use of an APS software and programming logic, with emphasis on minimizing Lead Time Offsett. Thereby, in addition to the effective result that this work demonstrates about the use of a production programming system, in a cellular manufacturing environment, we should also emphasize the topic reserthead, and studied, in this work due to the increasing complexity of manufacturing systems and environments as well as the difficulty of more precise analyzes regarding the impact of production flow variables, such as supply and movement times, setup times and the variability offered by manufacturing routes, which can cause underperformance of production processes in a factory. About the research method, this study approaches the subject, regarding the application of a programming model, based on the scope of the initial proposal, through a case study of a company that supplies automotive componentes, in the brazilian automobile sector. This study encompasses field research with access to documents of the manufacturing process as well as the bill of materials of related products, also, direct contact with the actors of the manufacturing process through periodic meetings during the procedure design process. Regarding the results achieved by this work, it is important to highlight the creation of different cenarios and comparisons that were made, regarding the use of different parameters and variables, such as makespan and lot sizing, so that the optimal experience could be achived, through the use of a customized programming model developed, exclusively, for this research.

Keywords: *Advanced Planning Systems; Finite Capacity; APS; Planning and Production Scheduling; Automotive industry; Supplier Relationship.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Casa do Gerenciamento de Cadeias de Suprimento.....	17
Figura 2 – Módulos de um <i>software</i> APS cobrindo a matriz de planejamento de uma CS.....	27
Figura 3 – Modelo de integração dos sistemas ERP e APS.....	34
Figura 4 – Fluxo logístico da empresa estudada.....	45
Figura 5 – Derivação do tempo de <i>schedule</i> a partir da visão geral da estrutura do produto.....	50
Figura 6 – Estrutura de Materiais (<i>Bill of Material</i> (BOM)).....	53
Figura 7 – Plano de Execução do Conjunto PA e dos Conjuntos 1 a 4.....	58
Figura 8 – Plano de Execução do Conjunto PA e dos Conjuntos 5 a 8.....	59
Figura 9 – Plano de Execução do Conjunto PA e dos Conjuntos 9 a 12.....	60
Figura 10 – Plano de Execução do Conjunto PA e dos Conjuntos 13 a 16.....	61
Figura 11 – Plano de Execução do Conjunto PA e dos Conjuntos 17 a 20.....	62
Figura 12 – Plano de Execução do Conjunto PA e dos Conjuntos 1 a 4.....	63
Figura 13 – Plano de Execução do Conjunto PA e dos Conjuntos 5 a 8.....	64
Figura 14 – Plano de Execução do Conjunto PA e dos Conjuntos 9 a 12.....	65
Figura 15 – Plano de Execução do Conjunto PA e dos Conjuntos 13 a 16.....	66
Figura 16 – Plano de Execução do Conjunto PA e dos Conjuntos 17 a 20.....	67
Figura 17 – <i>Manufacturing Bill Of Materials</i> (MBOM).....	69
Figura 18 – Fluxo do processo de fabricação a partir da BOM.....	79
Figura 19 – Proposta de procedimento de verificação do impacto do tempo do ciclo de abastecimento na operação.....	84
Figura 20 – Ocupação dos Recursos Utilizados.....	85
Figura 21 – Ocupação dos Recursos Utilizados.....	86
Figura 22 – Ocupação dos Recursos Utilizados.....	86
Figura 23 – Ocupação dos Recursos Utilizados.....	87
Figura 24 – Ocupação dos Recursos Utilizados.....	87
Figura 25 – Ocupação dos Recursos Utilizados.....	88
Figura 26 – Ocupação dos Recursos Utilizados.....	88
Figura 27 – Ocupação dos Recursos Utilizados.....	89
Figura 28 – Ocupação dos Recursos Utilizados.....	89
Figura 29 – Ocupação dos Recursos Utilizados.....	90
Figura 30 – Ocupação dos Recursos Utilizados.....	90
Figura 31 – Impacto da dimensão do produto em conjunto com o tamanho do lote no resultado do <i>Lead Time Offsetting</i> (LTO).....	95
Figura 32 – Impacto da dimensão do produto em conjunto com o tamanho do lote no resultado do <i>Lead Time Offsetting</i> (LTO).....	96

Figura 33 – Impacto do tamanho do lote e da dimensão do produto no <i>Lead Time Offsetting</i> (LTO).....	97
Figura 34 – Dados da estrutura de materiais dos componentes e respectivo fluxo do processamento.....	99
Figura 35 – Fluxo de materiais com os respectivos indicadores de refugo por processo.....	100
Figura 36 – Fluxo de materiais com o cálculo da demanda considerando o refugo por processo.....	101
Figura 37 – Dados da Estrutura de Materiais e do processo de fabricação.....	101
Figura 38 – Propriedade A.....	102
Figura 39 – Balanceamento do tempo.....	103
Figura 40 – Conjunto <i>KIT</i> do produto embreagem. Fonte: empresa objeto do estudo.....	108
Figura 41 – Proposta de <i>layout</i> (<i>Synchronized Production</i>).....	110
Figura 42 – Proposta de <i>layout</i> (<i>Synchronized Production</i>) (Células PPUM4 e DPM2).....	114
Figura 43 – Proposta de <i>layout</i> (<i>Synchronized Production</i>) (Células PPUM5 e DPM4).....	115
Figura 44 – Gráfico do comportamento da demanda do componente Platô a partir dos dados fornecidos pela empresa.....	126
Figura 45 – Gráfico do comportamento da demanda do componente Disco a partir dos dados fornecidos pela empresa.....	127
Figura 46 – Tempo de ciclo ponderado do grupo de componentes (Platô).....	132
Figura 47 – Tempo de ciclo ponderado do grupo de componentes (Disco).....	133
Figura 48 – Gráfico do comportamento da demanda do componente Platô a partir dos dados fornecidos pela empresa.....	136
Figura 49 – Gráfico do comportamento da demanda do componente Disco a partir dos dados fornecidos pela empresa.....	137
Figura 50 – Tempo de ciclo ponderado do grupo de componentes (Platô).....	143
Figura 51 – Tempo de ciclo ponderado do grupo de componentes (Disco).....	143
Figura 52 – Célula DPM4. (155 peças por hora).....	146
Figura 53 – Célula PPUM5. (132 peças por hora).....	149
Figura 54 – Células de Manufatura habilitadas para a fabricação dos componentes.....	152
Figura 55 – Células de Manufatura habilitadas para a fabricação dos componentes.....	153
Figura 56 – Estrutura de materiais dos componentes.....	160
Figura 57 – Estrutura de materiais dos componentes.....	161
Figura 58 – Estrutura de materiais dos componentes.....	162
Figura 59 – Estrutura de materiais dos componentes.....	163
Figura 60 – Estrutura de materiais dos componentes.....	164
Figura 61 – Estrutura de materiais dos componentes.....	165
Figura 62 – Estrutura de materiais dos componentes.....	166
Figura 63 – Estrutura de materiais dos componentes.....	167
Figura 64 – Estrutura de materiais dos componentes.....	168
Figura 65 – Estrutura de materiais dos componentes.....	169

Figura 66 – Estrutura de materiais dos componentes.....	170
Figura 67 – Estrutura de materiais dos componentes.....	171
Figura 68 – Relação das ordens de produção e os respectivos roteiros de fabricação.....	172
Figura 69 – Gráfico de Gantt da Programação.....	173

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Protocolo do estudo de caso.....	40
Tabela 2 – Descrição dos tempos de <i>setup</i> , processamento e movimentação por Conjunto da Estrutura de Produto apresentada nas Figuras 7 a 16.....	57
Tabela 3 – <i>Engineering Bill Of Materials</i> (EBOM)).....	69
Tabela 4 – Estrutura de processos (<i>Bill Of Processes</i> (BOP – 1º nível)).....	71
Tabela 5 – Estrutura de processos (<i>Bill Of Processes</i> (BOP – 2º nível)).....	72
Tabela 6 – <i>Routing for Part</i> (RFP).....	73
Tabela 7 – <i>Routing for Part</i> (RFP) Part C.1.1.....	73
Tabela 8 – <i>Routing for Part</i> (RFP) Part C.1.2.....	73
Tabela 9 – <i>Routing for Part</i> (RFP) Part C.1.3.....	73
Tabela 10 – <i>Routing for Part</i> (RFP) Part C.1.4.....	74
Tabela 11 – <i>Routing for Part</i> (RFP) Part C.1.5.....	74
Tabela 12 – <i>Routing for Part</i> (RFP) Part C.1.6.....	74
Tabela 13 – <i>Routing for Part</i> (RFP) Part C.2.1.....	74
Tabela 14 – <i>Routing for Part</i> (RFP) Part C.2.2.....	75
Tabela 15 – <i>Routing for Part</i> (RFP) Part C.2.3.....	75
Tabela 16 – <i>Routing for Part</i> (RFP) Part C.2.4.....	75
Tabela 17 – <i>Routing for Part</i> (RFP) Part C.2.5.....	75
Tabela 18 – <i>Routing for Part</i> (RFP) Part C.2.6.....	76
Tabela 19 – <i>Routing for Part</i> (RFP) Part C.3.1.....	76
Tabela 20 – Fluxo do processo de fabricação a partir da BOM.....	77
Tabela 21 – Valores do $\llbracket \Delta t \rrbracket$ ($j, k \rightarrow k+1$) para cada movimentação.....	80
Tabela 22 – Demanda dos componentes (período – semana 1 a 13).....	118
Tabela 23 – Demanda dos componentes (período – semana 14 a 25).....	119
Tabela 24 – Demanda dos componentes (período – semana 26 a 37).....	120
Tabela 25 – Demanda dos componentes (período – semana 38 a 49).....	121
Tabela 26 – Cálculo do tempo de ciclo ajustado (PPUM4 e DPM2).....	123
Tabela 27 – Cálculo do tempo de ciclo ajustado (PPUM5 e DPM4).....	123
Tabela 28 – Principais componentes Platô produzidos na célula de manufatura PPUM4.....	125
Tabela 29 – Principais componentes Disco produzidos na célula de manufatura DPM4.....	125
Tabela 30 – Resumo dos resultados do cálculo dos fatores 1 e 2 (Platô).....	129
Tabela 31 – Resumo dos resultados do cálculo dos fatores 1 e 2 (Platô).....	129
Tabela 32 – Resumo dos resultados do cálculo dos fatores 1 e 2 (Platô).....	130
Tabela 33 – Resumo dos resultados do cálculo dos fatores 1 e 2 (Disco).....	130
Tabela 34 – Resumo dos resultados do cálculo dos fatores 1 e 2 (Disco).....	131
Tabela 35 – Resumo dos resultados do cálculo dos fatores 1 e 2 (Disco).....	131
Tabela 36 – Cálculo da capacidade da célula de manufatura PPUM2.....	133
Tabela 37 – Cálculo da capacidade da célula de manufatura DPM2.....	134

Tabela 38 – Principais componentes Platô produzidos na célula de manufatura PPUM5.....	135
Tabela 39 – Principais componentes Disco produzidos na célula de manufatura DPM4.....	136
Tabela 40 – Resumo dos resultados do cálculo dos fatores 1 e 2 (Platô).....	139
Tabela 41 – Resumo dos resultados do cálculo dos fatores 1 e 2 (Platô).....	139
Tabela 42 – Resumo dos resultados do cálculo dos fatores 1 e 2 (Platô).....	140
Tabela 43 – Resumo dos resultados do cálculo dos fatores 1 e 2 (Disco).....	140
Tabela 44 – Resumo dos resultados do cálculo dos fatores 1 e 2 (Disco).....	141
Tabela 45 – Resumo dos resultados do cálculo dos fatores 1 e 2 (Disco).....	141
Tabela 46 – Cálculo da capacidade da célula de manufatura PPUM5.....	142
Tabela 47 – Cálculo da capacidade da célula de manufatura DPM4.....	144
Tabela 48 – Dados Produto (<i>kit</i>) (<i>Bill of Material</i> (BOM)).....	142
Tabela 49 – Dados Roteiro de Fabricação (<i>Bill of Process</i> (BOP)).....	154
Tabela 50 – Dados Conjunto Platô MF190 (<i>Bill of Material</i> (BOM)) e (<i>Bill of Process</i> (BOP)).....	155
Tabela 51 – Dados Conjunto Disco MF190 (NVTB) (<i>Bill of Material</i> (BOM)) e (<i>Bill of Process</i> (BOP)).....	156
Tabela 52 – Dados Conjunto Disco MF190 (NVTB) (<i>Bill of Material</i> (BOM)) e (<i>Bill of Process</i> (BOP)).....	157
Tabela 53 – Descrição dos modelos e alteração do parâmetro tamanho do lote.....	172
Tabela 54 – Turno de Trabalho por dia.....	172
Tabela 55 – Resultados dos cenários. Regra: Para Frente Prioridade Reversa.....	176
Tabela 56 – Utilização dos Recursos do Cenário 1. Regra: Para Frente Prioridade Reversa..	177
Tabela 57 – Utilização dos Recursos do Cenário 2. Regra: Para Frente Prioridade Reversa..	178
Tabela 58 – Utilização dos Recursos do Cenário 3. Regra: Para Frente Prioridade Reversa..	179
Tabela 59 – Resultados dos cenários. Regra: Para Frente Para Frente por Ponderação.....	181
Tabela 60 – Utilização dos Recursos do Cenário 1. Regra: Para Frente por Ponderação.....	182
Tabela 61 – Utilização dos Recursos do Cenário 2. Regra: Para Frente por Ponderação.....	183
Tabela 62 – Utilização dos Recursos do Cenário 3. Regra: Para Frente por Ponderação.....	184
Tabela 63 – Resultados dos cenários. Regra: Carregamento em Paralelo.....	185
Tabela 64 – Utilização dos Recursos do Cenário 1. Regra: Carregamento em Paralelo.....	187
Tabela 65 – Utilização dos Recursos do Cenário 2. Regra: Carregamento em Paralelo.....	188
Tabela 66 – Utilização dos Recursos do Cenário 3. Regra: Carregamento em Paralelo.....	189

LISTA DAS EXPRESSÕES MATEMÁTICAS

Expressão matemática – (1).....	52
Expressão matemática – (2).....	56
Expressão matemática – (3).....	82
Expressão matemática – (4).....	91
Expressão matemática – (5).....	93
Expressão matemática – (6).....	93
Expressão matemática – (7).....	93
Expressão matemática – (8).....	93
Expressão matemática – (9).....	94
Expressão matemática – (10).....	94
Expressão matemática – (11).....	98
Expressão matemática – (12).....	98
Expressão matemática – (13).....	98
Expressão matemática – (14).....	99
Expressão matemática – (15).....	99
Expressão matemática – (16).....	102
Expressão matemática – (17).....	122
Expressão matemática – (18).....	122
Expressão matemática – (19).....	123
Expressão matemática – (20).....	126
Expressão matemática – (21).....	127
Expressão matemática – (22).....	128
Expressão matemática – (23).....	132
Expressão matemática – (24).....	132
Expressão matemática – (25).....	132
Expressão matemática – (26).....	132

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Produção de veículos no Brasil de 1960 a 2016.....	09
--	----

SUMÁRIO

1. Introdução.....	05
1.1 Breve histórico de sistemas de gerenciamento da produção.....	06
1.2 Contextualização – setor automobilístico.....	09
1.3 Problema de pesquisa.....	10
1.4 Objetivo geral.....	11
1.5 Objetivos específicos.....	12
2. Referencial teórico.....	14
2.1 Introdução.....	15
2.2 Gerenciamento da cadeia de suprimentos (GCS).....	17
2.3 Programação da produção.....	19
2.4 Sistemas MRP.....	20
2.4.1 Limitações de sistemas MRP.....	22
2.5 Sistemas ERP.....	23
2.5.1 Limitações de sistemas ERP.....	24
2.6 Sistemas APS.....	25
2.6.1 Vantagens de sistemas APS.....	29
2.6.2 Requisitos básicos para implantação de sistemas APS.....	30
2.6.3 Exemplo na Literatura.....	33
3. Método de Pesquisa.....	36
4. Estudo de Caso.....	39
4.1 Protocolo – Estudo de Caso.....	40
4.2 Procedimentos adotados.....	41
4.3 Abastecimento de componentes.....	42
4.3.1 Introdução ao abastecimento de componentes.....	43

4.4 Modelagem de programação da produção.....	46
4.4.1 Notação matemática.....	51
4.4.2 Estudo preliminar das propriedades.....	52
4.4.3 Fluxo de operações a partir da estrutura modular.....	53
4.4.4 <i>Lead Time</i> Balanceado a partir da Lista de Materiais.....	54
4.4.5 <i>Lead Time Offsetting</i> (LTO).....	68
4.4.6 Propriedades Gerais.....	98
4.4.7 Propriedade A.....	102
4.4.8 Propriedade B.....	103
5. Estrutura do Sistema de Programação da Produção.....	107
5.1 Introdução.....	107
5.2 Descrição do modelo com a caracterização do processo de fabricação.....	111
5.3 Procedimento do cálculo da capacidade das células de manufatura.....	117
5.4 Cálculo da capacidade das células de manufatura PPUM4 e DPM2.....	124
5.5 Cálculo da capacidade das células de manufatura PPUM5 e DPM4.....	135
5.6 Roteiro de Fabricação.....	145
5.6.1 Célula de Manufatura DPM4.....	145
5.6.2 Célula de Manufatura PPUM5.....	148
5.7 Procedimento de Programação da Produção.....	158
6. Resultados.....	176
7. Considerações Finais.....	191
7.1 Conclusões Finais.....	193
7.2 Trabalhos Futuros.....	194
Referências Bibliográficas.....	196

1. INTRODUÇÃO

É constante a busca por novas e melhores maneiras das organizações de criar valor, direcionando todos os esforços para a decisão de quais métodos aplicar para aperfeiçoar a performance, de modo geral.

Como resultado deste movimento, emergiu, nos anos de 1990, um crescente interesse em logística e gerenciamento de cadeias de suprimentos, cujo foco é redução de custos e melhoria do nível de serviço desempenhado, o que pode ser alcançado através do planejamento.

Planejamento auxilia e oferece suporte ao processo de tomada de decisões, identificando alternativas às atividades futuras e selecionando as melhores, ou a melhor, opção. Segundo Domscke e Scholl (2003), o planejamento pode ser subdividido nas seguintes fases:

- Reconhecimento e análise de um problema de decisão;
- Definição de objetivos;
- Antecipação de desenvolvimentos futuros;
- Identificação e avaliação de soluções (atividades) factíveis;
- Por fim, seleção de soluções ótimas.

O principal objetivo que governa todas as atividades dentro de uma cadeia de suprimentos é o aumento da competitividade, uma vez que nenhuma unidade organizacional isolada é responsável pela competitividade de produtos e serviços oferecidos por toda a cadeia de suprimentos. Dessa maneira, a competição se dá, atualmente, entre cadeias de suprimentos, ao invés de organizações individuais. (MEYR & STADLER, 2005)

Atualmente, o gerenciamento da cadeia de suprimentos ainda é um tópico de interesse, e este pode ser descrito como uma abordagem holística, a qual permeia por entre os limites organizacionais.

Além disso, o gerenciamento de cadeias de suprimento proporcionou o entendimento de que a performance geral de um negócio é uma função de toda a cadeia ao invés das organizações individuais que a compõe. (SLACK et al., 2006)

Em uma cadeia de suprimentos, centenas de milhares de decisões individuais devem ser tomadas e coordenadas. Estas decisões apresentam graus de importância diferentes, assim, quanto mais importante, mais preparada deve ser a solução.

A preparação em questão, para tomada de decisões, constitui o trabalho de planejamento. Nesse contexto complexo de gerenciamento de cadeias de suprimento, muitas organizações têm buscado sistemas de informação e demais ferramentas avançadas para solucionar problemas complexos de planejamento, programação e controle da produção, que possam dar suporte à tomada de decisão e considerem diversas variáveis, restrições e cenários para realizar programação com capacidade finita, como é o caso dos Sistemas de Planejamento Avançado (*Advanced Planning and Scheduling* (APS)) (STADLER & KILGER, 2005; JONSSON, KJELLSDOTTER, & RUDBERG, 2007). Cabe, no entanto, tratar neste texto de um breve histórico de sistemas de gerenciamento da produção.

1.1 BREVE HISTÓRICO DE SISTEMAS DE GERENCIAMENTO DA PRODUÇÃO

É relevante ressaltar, antes mesmo de abordar o histórico dos sistemas, que, segundo Green (2001), a distinção entre *Enterprise Resource Planning* (ERP) e *Supply Chain Planning* (SCP) ainda não está explícita plenamente na literatura, uma vez que geralmente o ERP é considerado responsável pelas áreas de manufatura, vendas e contabilidade, enquanto que sistemas SCP estão mais orientados às funções logísticas específicas, tais como previsão, produção, transporte, distribuição e entrega de pedidos.

Autores apontam que o MRP (*Materials Requirements Planning*) inaugurou a primeira geração de sistemas de planejamento de materiais sistemáticos. MRP foi construído com base na lista de materiais (*Bill of Materials*), assim sua principal vantagem é a habilidade de apresentar, de maneira explodida, todos os componentes

necessários para a construção de determinado item, além de permitir visualizar o tempo necessário para cada componente em um volume grande de ordens.

Em meados dos anos 1970, praticamente todos os principais desenvolvedores de sistemas, tais como, SAP, Lawson, J.D. Edwards e Baan lançaram seus primeiros pacotes de *software* MRP, uma vez que estava em crescimento o interesse por sistemas MRP e os custos computacionais, em declínio (JACOBS e WESTON, 2007)

Mais tarde, sistemas MRP foram aperfeiçoados de forma a suportarem planejamentos de requisitos de capacidade e, a estes sistemas, foi atribuído o termo de MRP de ciclo fechado (*Closed Loop MRP*). Estes *softwares*, por meio de retroalimentação de informações, proporcionaram novas capacidades como ajuste de planos produtivos e regenerações.

O acrônimo MRP II foi inventado por Ollie Wright, no início dos anos 1980, para distinguir este, daqueles sistemas MRP iniciais (JACOBS e WESTON, 2007). Mais tarde, o acrônimo MRP II foi renomeado para *Manufacturing Resource Planning* de maneira a cobrir as novas funcionalidades.

Em 1990, a consultoria Gartner Group cunhou o termo *Enterprise Resource Planning* (WYLIE, 1990), uma vez que as ferramentas do *software* haviam, gradualmente, integrado outras áreas de aplicação como previsão, planejamento a longo prazo e planejamento de recursos críticos.

Em meio a aceitação geral de MRP/ERP terem se tornado, ao longo dos anos, os principais sistemas de informação em organizações manufatureiras, outros sistemas como *Computer Aided Design* (CAD), *Shop Floor Planning*, *Data Collection*, configuração de produtos, entre outros, passaram a ser integrados aos principais sistemas MRP/ERP existentes.

Por volta dos anos 2000, grandes fornecedores e desenvolvedores de sistemas ERP iniciaram a integração de *softwares* de planejamento avançados (*Advanced Planning Systems* (APS)). SAP e Oracle estavam entre os primeiros a incluir tal funcionalidade à sua *suite* de aplicativos de negócios.

Um *software* APS não substitui, apenas complementa sistemas ERP existentes. O ERP é responsável pelas atividades básicas e transações, por exemplo, processamento de

ordens de clientes, enquanto o APS cuida da análise de atividades diárias, fornecendo suporte à tomada de decisões.

Paralelamente aos desenvolvedores e fornecedores de sistemas ERP, novos competidores emergiram na área de *Supply Chain Planning* (SCP), os quais tentam atender a necessidade de planos mais inteligentes capazes de englobar um, ou mais, parceiros em uma cadeia de suprimentos. Uma vez que sistemas SCP estão mais orientados às funções logísticas específicas, tais como previsão, produção, transporte, distribuição e entrega de pedidos.

Por fim, diversos autores, incluindo Hvolby e Steger-Jensen (2010), apontam que o grande desafio de sistemas APS consiste em delinear um plano adequado e otimizado ao longo dos parceiros existentes em uma cadeia de suprimentos. APS oferece esta funcionalidade, entretanto é raramente empregada no contexto global da cadeia de suprimentos. Cada parceiro necessita de um plano que não apenas otimize um subconjunto de suas operações, mas sim o relacionamento de suas operações com o todo, representado pela cadeia.

Desse modo, o presente estudo tem o objetivo de identificar as deficiências da programação da produção de uma empresa no setor automotivo no Brasil, por meio da elaboração de um modelo de programação, fundamentado em um *software* APS, identificando assim, suas principais causas, e avaliando as contribuições que este *software*, especialista em programação da produção, pode proporcionar ao ambiente empresarial estudado.

A motivação deste trabalho reside no fato de que os sistemas APS ainda são poucos explorados na literatura, assim como a crescente importância para as empresas em ter uma ferramenta de capacidade finita (APS) para a programação detalhada da produção (STADLER et al., 2005; JONSSON et al., 2007). Além disso, existe a crescente busca por sistemas de informação integrados às áreas produtivas e a outros membros de uma cadeia de suprimentos.

1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO – SETOR AUTOMOBILÍSTICO

O setor automobilístico no Brasil é composto por 31 fabricantes (montadoras de veículos), 590 empresas de autopeças e mais de 5500 concessionárias. A capacidade instalada combinada dessas empresas é de 5,05 milhões de veículos por ano, obtendo, em 2015, um faturamento de US\$59,1 bilhões. (ANFAVEA, 2017).

É notável, a partir de dados disponíveis no anuário da ANFAVEA (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores), um expressivo crescimento da produção de veículos no país desde a década de 1960, de acordo com o Gráfico 1.

Gráfico 1 – Produção de veículos no Brasil de 1960 a 2016. Fonte: Anfavea, 2017.

Ainda segundo a ANFAVEA, o Brasil tornou-se, em 2016, o 10º maior produtor de veículos automotores do mundo. Dessa forma, a cadeia de abastecimento das indústrias de autopeças e montadoras de automóveis tem o desafio de enfrentar as dificuldades inerentes ao atendimento da demanda.

Por se tratar de um segmento industrial altamente competitivo e complexo, empresas buscam por soluções capazes de atender, eficientemente, a variabilidade da demanda, a redução do tempo de entrega aos consumidores intermediários e finais, a manutenção de um nível adequado de inventário além de oferecer um *mix* de produtos diversificado, customizado.

Por apresentar uma participação no PIB brasileiro, segundo a ANFAVEA em 2015, de 22% o setor automotivo figura entre um dos mais importantes e influentes setores industriais do país, responsável também por auxiliar e catalisar o avanço do processo de industrialização do Brasil, atuando também como critério motivador para este trabalho de pesquisa.

1.3 PROBLEMA DE PESQUISA

A empresa objeto de estudo deste trabalho, denominada empresa A, atua como fornecedor de segunda camada, produzindo componentes automotivos como o conjunto de embreagem (ou *kit* de embreagem), em que cada qual é composto por 1 (um) componente de disco e 1 (um) componente de platô.

Os itens produzidos visam o abastecimento de várias montadoras de veículos nacionais, assim como do mercado de reposição, situação, esta última, em que se configura a maior margem de contribuição da empresa de autopeças.

A empresa A, por estar inserida em uma robusta, entretanto extremamente variável, cadeia de suprimentos automotiva apresenta problemas e empecilhos que comprometem parte da eficiência dos processos produtivos. Dentre essas situações problemáticas podemos citar:

- Falta de estrutura fabril de alguns fornecedores de terceira camada, os quais fornecem componentes para a empresa A. Segundo diversas visitas e reuniões com gestores da empresa, o relacionamento com fornecedores de terceira camada caracteriza-se como um elo frágil;
- Falta de um aprofundamento do estudo detalhado da empresa A, compreendendo políticas internas e culturais, as quais não são facilmente identificadas por meio de visitas técnicas. Por esse motivo, é necessária a definição de regras ou políticas de controle para que se possa obter responsabilidade pessoal;
- Falta de uma visibilidade adequada da demanda dos clientes (montadoras de veículos). Neste caso, podemos dizer que o relacionamento entre clientes e fornecedores, independentemente do nível ocupado, é falho. As incertezas e variações de demanda são transmitidas ao longo da cadeia de suprimentos, além

disso, a falta de um relacionamento com maior grau de proximidade, um vínculo profissional, diferentemente de como ocorre com montadoras japonesas - Toyota e Honda, não permitem um acompanhamento, seja por instrumentos e ferramentas avançados ou não, da oscilação de demanda suficientemente eficiente e eficaz. O baixo grau de proximidade na relação montadora-fornecedor não permite, pelo menos da maneira ideal, o estabelecimento e cumprimento de políticas e regras de controle;

- Outra situação negativa identificada é a falta de visibilidade de itens e componentes nos processos produtivos internos da empresa A. Não há um sistema de apontamento e rastreamento eficiente de componentes em processo, logo, não existe o registro destes nos inventários empresariais. Como o período de “invisibilidade” pode ser relativamente prolongado, os programadores adotam a prática de utilizar uma margem de segurança maior em seus pedidos, de forma a cobrir as incertezas de inventário. Situação esta, que contribui diretamente para um dos maiores problemas enfrentados na empresa A: altos níveis de estoque.

A todos estes problemas apresentados, soma-se o cenário brasileiro de incertezas políticas e econômicas, o qual atua como agravante das situações anteriormente mencionadas.

Dessa maneira, a principal questão de pesquisa, definida neste trabalho, pode ser considerada como: Quais as principais contribuições de um *software* APS, especialista em programação da produção, para um ambiente empresarial de manufatura celular?

1.4 OBJETIVO GERAL

Este trabalho de mestrado possui, como objetivo geral, identificar as deficiências da programação da produção de uma empresa no setor automotivo no brasileiro, por meio do desenvolvimento de um modelo de programação, fundamentado em um *software* APS, que seja capaz de identificar as principais causas de ineficiências e avaliar as contribuições que este *software*, especialista em programação da produção, pode proporcionar ao ambiente empresarial estudado, baseando-se em parâmetros como *makespan*, tamanho de lote e nível de estoque em processo

1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos, identificados neste trabalho, são:

- Identificar as principais restrições do fluxo de produção quanto à sincronização do sistema de manufatura celular;
- Desenvolver um modelo de programação da produção, para esse sistema, que seja capaz de minimizar o impacto dessas restrições;
- Analisar os resultados da proposta do modelo estruturado a partir do trabalho, quanto à eficácia do processo de gestão dos níveis de estoque dos materiais em processo de fabricação.

O presente trabalho encontra-se dividido em sete seções: 1. Introdução; 2. Referencial Teórico; 3. Método de Pesquisa; 4. Estudo de Caso; 5. Estrutura do Sistema de Programação da Produção; 6. Resultados e; 7. Considerações Finais.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A revisão de literatura realizada com o propósito da obtenção de um referencial teórico básico de acordo com o escopo de pesquisa desta dissertação, buscou analisar as tendências futuras e seus respectivos desafios, ao passo que uma abordagem detalhada de modelos passados também é contemplada. Deste modo, trata da evolução de sistemas de planejamentos de produção, assim como suas inter-relações como fatores importantes para o desenvolvimento deste trabalho.

Foram consultadas bases de dados a fim de encontrar as referências bibliográficas que sustentam o desenvolvimento deste trabalho. As bases de dados utilizadas foram: *Compendex/Engineering Village*, *IEEE Explorer*, *SCOPUS* e *Web of Science*.

Por se tratarem de referências para a comunidade internacional, principalmente na área do conhecimento em que este trabalho está inserido, essas bases de informações foram escolhidas.

As buscas de artigos e periódicos foram feitas utilizando as palavras-chave *Advanced Planning and Scheduling*, *APS and Scheduling*, *APS and Scheduling and Industry*, *APS and Scheduling and System*. Dentre os artigos e periódicos encontrados, os resultados foram filtrados segundo áreas de conhecimento relevantes ao trabalho, dessa maneira, alguns filtros utilizados foram *Engineering Industrial*, *Engineering Manufacturing*, *Operations Research Management Science*, *Computer Science Interdisciplinary Applications* e *Computer Science Information Systems*.

Além disso, também foram consultados livros devido ao seu grande potencial de consolidação de conhecimentos.

Durante a realização de buscas, foram obtidos 535 artigos com o termo *Advanced Planning and Scheduling*, já com o termo *APS and Scheduling*, foram encontradas 214 referências. Utilizando o termo *APS and Scheduling and Industry* foram obtidas 140 referências. E finalmente, buscas pelo termo *APS and Scheduling and System* retornaram 100 referências. Por meio das buscas foram encontrados artigos redigidos em língua inglesa e portuguesa.

Uma vez realizadas as buscas, procedeu-se para a análise das referências encontradas, por meio de leitura, de maneira a determinar a relevância dos mesmos para com o objeto de estudo deste trabalho acadêmico.

2.1 INTRODUÇÃO

A produção de bens de consumo, similar aos mecanismos de fabricação disponíveis atualmente, teve início com a Revolução Industrial, quando foram introduzidos sistemas de manufatura e recursos fabris para produzir produtos a serem consumidos em massa.

Neste contexto, há a idealização dos primeiros sistemas e conceitos relacionados a gerenciar tais recursos, ou seja, os sistemas de planejamento e controle da produção que evoluíram e desenvolveram-se conforme a própria ciência da Administração, desde os esforços de Frederick W. Taylor e Henri Fayol do início do século XX até os dias atuais.

No início do século XX, os princípios da administração científica, elaborados por Taylor, tratavam a administração como ciência baseada na observação, analisando e aprimorando os métodos de trabalho. Ainda no início do século XX, o empresário Henry Ford aplicou os princípios desenvolvidos até então para promover a produção em massa de automóveis, empregando o conceito de linhas de montagem e peças intercambiáveis.

Com os avanços da tecnologia, cresceu a complexidade dos bens produzidos e tais sistemas foram aprimorados. Dessa maneira, na década de 1960, diversos pesquisadores, dentre eles Joe Orlicky, Oliver Wright e G. W. Possl, desenvolveram métodos similares a fim de realizar cálculos mais complexos com o uso do computador, os quais foram compilados e divulgados no meio acadêmico sob uma mesma teoria: os sistemas *Materials Requirement Planning* (MRP). A partir da década de 1970, com a introdução do uso de computadores no ambiente produtivo, novas perspectivas para *softwares* MRP foram criadas e amplamente difundidas.

Na década de 1980, houve o surgimento de uma evolução natural do MRP: o *Manufacturing Resources Planning* (MRPII). Sob a pressão de redução de custos, não era interessante garantir somente os materiais em tempo, mas também demais recursos, tais

como: pessoas; capital; máquinas; etc. A incorporação destes outros parâmetros resultou na origem do MRP II.

Segundo Hopp e Spearman (2008), além de corrigir as deficiências do MRP, o MRP II trouxe outras funções de maneira a integrar o sistema de gerenciamento da manufatura, tais funções são: planejamento de capacidade; programação mestre de produção; controle de entradas/saídas; gestão de demanda; entre outras.

De acordo com Hopp e Spearman (2008), a geração de planos viáveis de produção ainda dependia muito da ação humana, a qual interferia o sistema ao atrasar ou adiantar ordens de compras e produção.

Com a abertura de novos mercados e com a internacionalização do comércio, na década de 1990, grandes empresas deram início à popularização de um novo tipo de sistema: sistemas *Enterprise Resources Planning* (ERP), os quais permitiam planejar e controlar diversos recursos da organização, além dos recursos de produção. Os ERP's são tipicamente divididos em módulos, tais como finanças, contabilidade, distribuição, vendas, etc. Um dos grandes trunfos dos sistemas ERP, segundo Hopp e Spearman (2008), foi a padronização, gerando economias consideráveis às grandes empresas.

Ainda de acordo com os autores, os sistemas ERP interligavam informações de uma maneira que tornava seu gerenciamento mais fácil e simples para a alta administração, oferecendo uma visão mais global das operações quase que em tempo real.

Com a crescente pressão por *lead-times* menores, redução de custos e atendimento aos prazos, surgiram os sistemas especialistas em programação da produção *Advanced Planning System* (APS), os quais consideram modelos matemáticos para solução de problemas de programação de produção, considerando a maior parte das restrições existentes nos sistemas e subsistemas produtivos.

De acordo com Wang e Liu (2011), a principal característica de um sistema APS consiste em este ser uma ferramenta de programação e planejamento baseada na teoria das restrições e gerenciamento da cadeia de suprimentos. Além disso, ainda segundo Wang e Liu (2011), o sistema APS contém um vasto número de modelos matemáticos e tecnologias de simulação e otimização, as quais consideram matérias, equipamentos,

pessoas, fornecedores, demanda de clientes e fatores de transportes no processo de tomada de decisões.

2.2 GERENCIAMENTO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS (GCS)

O objeto de estudo do gerenciamento de cadeias de suprimento é, obviamente, a cadeia de suprimentos (CS), a qual representa um conjunto de organizações que estão envolvidas, seja a montante ou jusante, em diferentes processos e atividades que produzem valor, na forma de produtos ou serviços. De maneira geral, o GCS consiste em duas, ou mais, organizações unidas por fluxos de materiais, informações e financeiros.

Essas organizações podem ser empresas produtoras de componentes, produtos finais, prestadoras de serviços logísticos e, por fim, o próprio cliente (MYER, STADLER, 2005).

Segundo Stadler (2005), o gerenciamento da cadeia de suprimentos pode ser compreendido e representado por um modelo, denominado, pelo autor, de Casa do GCS, apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Casa do Gerenciamento de Cadeias de Suprimento. Fonte: Adaptado de Stadler (2005).

Segundo o modelo apresentado, o telhado representa o objetivo primordial do gerenciamento de cadeias de suprimento, que se trata do alcance da competitividade - indicada pelo nível de serviço prestado ao cliente.

A competitividade pode ser aprimorada de diversas maneiras, por exemplo: reduzindo custos; elevando a flexibilidade do sistema, de maneira a atender variações de demanda; ou então, aprimorando a qualidade de produtos e da prestação de serviços.

O telhado é sustentado por dois pilares, os quais representam os componentes principais do GCS, são eles: a integração de uma rede de organizações; e a coordenação de informações, materiais e fluxos financeiros. A Figura 1 também mostra os diversos elementos e disciplinas que formam a base do GCS.

Os dois pilares sustentadores serão, agora, subdivididos em alguns blocos. Sob o mantra da integração, a formação de uma cadeia de suprimentos requer, primeiramente, a escolha de parceiros adequados para o desenvolvimento de um relacionamento.

Em segundo lugar, com a finalidade de uma organização se tornar efetiva e de sucesso, há a necessidade, segundo o autor, de existir colaboração Inter organizacional. Por fim, novos conceitos de alinhamentos estratégicos de lideranças entre parceiros envolvidos são de extrema importância para o funcionamento de uma cadeia de suprimentos Inter organizacional.

Sob a perspectiva de coordenação, referente ao segundo pilar, o autor defende que a coordenação de fluxos em uma cadeia de suprimentos pode ser executada eficientemente utilizando-se os mais recentes desenvolvimentos em tecnologias de informação e comunicação. Essa abordagem permite a automatização de processos antes manualmente executados.

A orientação a processos assim como a padronização destes, deve ser seguida e incorporada nos elementos de gerenciamento da cadeia.

Por fim, a execução de ordens, disponibilidade de maquinário, ferramentas e pessoas deve ser planejada. Embora planejamentos de produção, distribuição e aquisição

já tenham sido empregadas por várias décadas, estes, segundo o autor, são isolados e limitados pelo escopo.

A coordenação de planos em diversos sites, legalmente e geograficamente, separados representa um novo desafio, o qual é objeto de estudo de sistemas de planejamento avançados, também denominados como *Advanced Planning Systems* (APS).

Segundo Gupta *et. al.* (2014), programação da produção (*Scheduling*) é uma prática de tomada de decisão amplamente empregada em organizações, e preza por otimizar objetivos com alocação de recursos às tarefas, dados períodos de tempo definidos.

Em uma organização, recursos e tarefas podem assumir diversas formas. Recursos podem ser máquinas em um ambiente fabril, unidades de processamento em um ambiente computacional, entre outros.

Já tarefas, operações ou sub-operações manufatureiras de um determinado produto, instruções a serem executadas por uma unidade de processamento, estágios em um projeto de construção, entre outros.

2.3 PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO

Com as mudanças ocorridas nas últimas décadas, principalmente no setor de Tecnologia da Informação (TI), tornou-se indispensável a ampliação dos esforços, por parte de organizações, para manterem-se competitivas.

Virtualmente, a gestão da produção preza por *Work in Process* (WIP) mínimo, entregas realizadas dentro do prazo, baixos *lead times* e máxima utilização de recursos, infelizmente estes objetivos gerenciais conflitem entre si.

É extremamente mais fácil terminar tarefas dentro do prazo se a utilização de recursos for baixa, assim como *lead times* ao cliente podem ser drasticamente reduzidos caso todos produtos acabados sejam mantidos no inventário, entretanto essas situações ocasionam conflitos estratégicos diretos.

Assim, Hopp e Spearman (2008) definem que o objetivo da programação da produção é determinar um balanço positivo dentre os vários objetivos conflitantes existentes.

Sule (1997) define, de maneira mais detalhada, a programação da produção como uma atividade que consiste em planejar e priorizar as operações que necessitam ser executadas em uma sequência predeterminada.

Ademais, Girotti e Mesquita (2016) afirmam que uma programação eficiente de recursos – máquinas, pessoas e materiais – é um imperativo no ambiente industrial extremamente competitivo nos dias atuais.

Segundo os autores, programar é um ato de definição de prioridades e organização das atividades para maximizar objetivos predefinidos, os quais estão sujeitos a restrições do chão de fábrica, da gerência e até dos clientes.

Girotti e Mesquita (2016) concluem que para a obtenção de vantagens competitivas neste ambiente complexo, novo e turbulento, é importante contar com um processo de programação detalhada da produção eficiente.

Sendo esta função desempenhada pelo setor de Planejamento e Controle da Produção (PCP), que é o responsável pelo fornecimento de informações para a administração eficiente do fluxo de materiais, efetiva utilização de pessoas, coordenação de atividades internas com as dos fornecedores e responsável também por estabelecer a comunicação com os clientes sobre as demandas de mercado.

2.4 SISTEMAS MRP

Segundo Hopp e Spearman (2008), a função básica de um sistema MRP é planejar os requerimentos de materiais, e é utilizado de forma a coordenar as ordens internas e externas.

Os autores argumentam que o principal foco de um sistema MRP recai sobre a programação de ordens internas, também denominadas como tarefas, e externas (ordens

de compra de materiais) de maneira a satisfazer os requerimentos de materiais gerados por uma demanda externa.

Segundo Girotti e Mesquita (2016), os dados de entrada de um sistema MRP são:

- Programa mestre de produção (*Master Production Schedule*): o qual especifica as quantidades e datas de entrega dos produtos com demanda independente;
- Lista de materiais (*Bill of Material*): trata-se de um cadastro que descreve os componentes necessários para a fabricação de determinado produto;
- Controle de estoques: responsável por fornecer a posição de estoque de cada item;
- Cadastro dos itens: apresenta dados dos itens, tais como código, descrição, fornecedores, unidades de medida, prazo de entrega, *lead time*, etc.

Hopp e Spearman (2008) apresentam, de forma resumida, o algoritmo MRP em cinco passos:

- *Netting*: nesta etapa são calculadas as necessidades líquidas em cada período considerado, subtraindo das necessidades brutas os estoques projetados e os recebimentos programados em cada período;
- *Lot sizing*: nesta etapa as necessidades líquidas são agrupadas em lotes de produção ou compra;
- *Time phasing*(programação para trás): neste passo são determinadas as datas de liberação das ordens subtraindo das datas de entrega o *lead time* correspondente;
- *BOM explosion*: neste passo são geradas as necessidades brutas de cada componente do próximo nível da lista de materiais;
- Iteração: nesta última etapa os passos anteriores são repetidos para os demais componentes, respeitando a hierarquia dos itens na lista de materiais (BOM).

2.4.1 LIMITAÇÕES DE SISTEMAS MRP

Embora o sistema MRP gere efetivamente um conjunto de ordens de produção, no que se refere à programação detalhada, fato que merece destaque segundo Girotti e Mesquita (2016), Hopp e Spearman (2008) apontam algumas críticas recorrentes ao MRP, são elas:

- Programação infinita: o sistema MRP considera que os *lead times* das ordens são constantes, isto é, são atributos dos itens, e independem do *status* do chão de fábrica, assim, assume-se capacidade infinita dos recursos;
- Lead times superestimados: uma vez que os *lead times* são fixos, é comum que sejam superestimados, de maneira a permitir que os pedidos possuam maiores possibilidades de serem completados a tempo. Este fato, por sua vez, provoca lançamentos antecipados, filas e tempos de fluxo maiores;
- Nervosismo do sistema: pequenas variações na programação mestre da produção podem ocasionar grandes variações nos planos gerados pelo MRP, entende-se que este efeito está relacionado, dentre outros fatores, devido às políticas de lote.

De acordo com Hopp e Spearman (2008), o MRP é tipicamente um sistema empurrado, uma vez que a liberação de ordens é realizada mediante uma programação. Os autores elaboram que na ausência de um sistema eficaz de controle, corre-se o risco de aumento de filas e atrasos decorrentes das incertezas dos processos de suprimento e produção.

Em síntese, Corrêa e Corrêa (2009) afirmam que o MRP é, normalmente, um sistema de programação para trás com capacidade finita, enquanto sistemas APS utilizam técnicas de programação bidirecional, isto é, primeiramente realizam a programação para trás, tentando reduzir o nível de WIP e, em segundo lugar, utilizam a programação para frente de maneira a eliminar eventuais atrasos na programação.

2.5 SISTEMAS ERP

Alguns anos após o desenvolvimento de sistemas sucessores ao MRP, como o MRP II, surgiu, sob o mantra da integração funcional, um sistema capaz de planejar e controlar não apenas as operações de manufatura, mas sim diversos recursos da organização tais como finanças, contabilidade, distribuição, vendas, entre outros.

Segundo Hopp e Spearman (2008), o ERP reúne e interliga informações de uma maneira que torna mais fácil o acompanhamento e gerenciamento das mesmas de uma perspectiva global, quase em tempo real.

Os autores anteriores listam algumas vantagens deste tipo de sistema, tais como:

- Integração de funções;
- Interfaces de usuário e dados consistentes, uma vez que a base de dados é única e integrada;
- Arquitetura unificada, munida de um conjunto de ferramentas;
- Suporte a produtos unificado.

Hopp e Spearman (2008) também listam algumas desvantagens e limitações dos sistemas ERP, tais como:

- Incompatibilidade com sistemas já existentes, agravando o fato de a implementação do ERP ser complexa, longa e dispendiosa;
- Incompatibilidade com práticas gerenciais existentes;
- Período de *payback* significativamente elevado.

Apesar de possuir algumas desvantagens, os sistemas ERP obtiveram sucesso no meio industrial, devido a alguns acontecimentos e tendências originárias de seu período de desenvolvimento, Hopp e Spearman (2008) listam alguns.

Primeiramente, ao reconhecimento de um campo, denominado de gestão da cadeia de suprimentos (GCS). A GCS estende os tradicionais métodos de controle de inventário de maneira a incluir, em seu escopo, distribuição, armazenagem e locais múltiplos de produção.

Em segundo lugar, o acolhimento, por parte de sistemas ERP, do movimento de reengenharia de processos de negócios. Esta nova tendência ajudou a difundir, no meio empresarial, a ideia de mudanças radicais em estruturas gerenciais, a qual tornou-se um benefício da implementação do ERP.

Finalmente, ao aumento do poder processamento de computadores individuais, tornando mais acessível a implantação de sistemas corporativos assim como o gerenciamento de um repositório comum de dados. Os empecilhos tecnológicos existentes, necessários para a utilização de uma infraestrutura deste tipo de sistema, tornaram-se menos relevantes com o aumento do poder de processamento dos dispositivos disponíveis.

2.5.1 LIMITAÇÕES DE SISTEMAS ERP

Sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*) tornaram-se um padrão no gerenciamento de negócios em, praticamente, todos os setores em que a automação da informação é possível (SHAOJUN *et al.*, 2008). Entretanto, diversos autores apontam que existe uma lacuna entre o que sistemas ERP conseguem contribuir para a manufatura, em termos de planejamento e *scheduling*, e o que as organizações realmente precisam (HVOLBY & STEGER-JENSEN, 2010).

De maneira geral, APSs oferecem melhor performance e maiores funcionalidades que ERPs, na área de planejamento da produção. Segundo vários autores, a implantação do APS foca em solucionar problemas de planejamento ao invés do sistema como um todo (HARJUNKOSKI, NYSTROM & HORCH, 2009; CHEN & JI, 2007).

Segundo Vidoni e Vecchietti (2010), faltam, em sistemas ERP, funcionalidades empresariais estendidas, flexibilidade ao se adaptarem às mudanças na cadeia de suprimentos, capacidade de suporte à tomada de decisões avançadas e a falta de uma arquitetura modular aberta. Segundo Ozturk e Ornek (2014), esses problemas estão atrelados, diretamente, ao raciocínio básico falho de sistemas MRP-II (*Manufacturing Resource Planning*), sob os quais foram desenvolvidos os sistemas ERP.

2.6 SISTEMAS APS

Em uma cadeia de suprimentos, decisões devem ser tomadas constantemente, seja para a atribuição de uma tarefa a uma máquina ou para a construção de uma nova planta fabril de uma empresa. Assim, as atividades que compõem o planejamento de uma cadeia de suprimentos (*Supply Chain Planning*) abrangem desde o projeto da cadeia de suprimentos, coordenação operacional e até atividades de *scheduling*.

É sabido que o escopo, assim como o objetivo de aplicação, de sistemas *Enterprise Resources Planning* (ERP) não residem na área de planejamento. Dessa maneira, sistemas *Advanced Planning Systems* (APS) têm a capacidade de preencher esta lacuna.

Os sistemas de planejamento avançado (APS) baseiam-se na implementação dos conceitos de planejamento anteriores a partir de padrões industriais e bases algorítmicas. Dessa maneira, a arquitetura de um sistema APS é aberta, de maneira a contemplar novos modelos e algoritmos.

Segundo a APICS (2008), um sistema APS pode ser definido como qualquer programa de computador que se utiliza de algoritmos matemáticos avançados, ou lógica, para realizar a otimização ou a simulação de capacidade finita, previsão e gerenciamento de demanda, planejamento de recursos, outsourcing, entre outras atividades. Um sistema APS, frequentemente gera e avalia múltiplos cenários, cabendo à liderança de uma organização selecionar um destes e assim, torná-lo o “plano oficial”.

Ainda segundo a APICS, um sistema APS deve apresentar as seguintes características:

- 1) Utilizar operações matemáticas avançadas para realizar otimizações e simulações;
- 2) Considerar recursos finitos;
- 3) Incluir, pelo menos, um dos seguintes componentes:
 - a) Planejamento de demanda;
 - b) Planejamento da produção;
 - c) Programação da produção;
 - d) Planejamento da distribuição;
 - e) Planejamento do transporte.

Existem, atualmente, diversos pacotes de softwares que contemplam modelos e soluções algorítmicas, atribuídas pela pesquisa operacional, entretanto, um sistema APS, independentemente do desenvolvedor, apresenta uma arquitetura comum.

Segundo diversos autores, um sistema APS apresenta diversos grupos de funcionalidades, denominados “níveis de planejamento” ou “módulos” (FLEISCHMANN & MEYR, 2003; HADAYA & PELLERIN, 2008; HVOLBY & STEGER-JENSEN, 2010; KUNG & CHERN, 2009; MEYR, ROHDE & STADLER, 2002; STADLER, 2005; STAEBLEIN & AOKI, 2014; ZORYK-SCHALLA et. al., 2014; OZTURK & ORNEK, 2014). Assim, os níveis de planejamento são definidos segundo Fleischmann e Meyr (2003):

- Planejamento Estratégico;
- Planejamento Agregado;
- Gestão da Demanda;
- Planejamento de Materiais e Compras;
- Programação Mestre da Produção;
- Programação Detalhada;
- Planejamento da Distribuição;
- Programação das Entregas;
- Gerenciamento de Pedidos e Estoques.

Os módulos listados, assim como os prazos associados, estão representados na Figura 2.

Figura 2 – Módulos de um software APS cobrindo a matriz de planejamento de uma CS.

Fonte: Adaptado de Meyr *et al.* (2005) e Azanha (2014).

De maneira resumida, os módulos apresentados são responsáveis por:

- **Planejamento Estratégico:** Contemplar locais de produção, armazéns e suas localizações, capacidades produtivas das instalações, modais de transporte utilizados, entre outros fatores;
- **Planejamento Agregado:** Apresentar a maneira mais eficiente de atender as previsões de demanda, em um período de médio prazo. Devendo coordenar atividades e processos ao longo da cadeia de suprimentos;
- **Gestão da Demanda:** Contemplar a previsão de demanda esperada, adicionando-se as influências excepcionais;
- **Programação Mestre da Produção em conjunto com Programação Detalhada:** Contemplar um detalhamento do Planejamento Agregado, neste detalhamento são considerados turnos, grupos de máquinas, fluxos de materiais, operações gargalo, assim como seus sequenciamentos e programações;
- **Planejamento de Materiais e Compras:** Utilizar informações de curto prazo, de módulos anteriores (Planejamento Agregado, Programação Mestre da Produção e

Programação Detalhada), tais como a lista de materiais (*Bill of Materials* (BOM)) e programações, para aquisição de materiais;

- **Planejamento da Distribuição:** Contemplar atividades relacionadas ao transporte de mercadorias aos consumidores (diretamente), assim como por meio de armazéns, centros de distribuição, *cross docking*, entre outros;
- **Programação das Entregas:** Apresentar planejamentos de carregamento/descarregamento de mercadorias, planejamento de rotas de distribuição, períodos de entrega, legislações de trânsito e a viabilidade da utilização de operadores logísticos;
- **Gerenciamento de Pedidos e Estoques:** Considerar o acompanhamento dos pedidos de clientes, desde sua ordem de entrada, execução e entrega. Este módulo também é responsável por definir datas de entrega (*due dates*) e realizar o planejamento da falta de materiais (*shortage planning*).

De acordo com Shapiro (2001), o aumento do interesse por sistemas de planejamento avançado, no contexto do planejamento da cadeia de suprimentos deve-se a dois motivos principais:

- Primeiramente, a necessidade de modelos e processos de negócios auxiliarem na tomada de decisão, principalmente em atividades como projeto e operação de cadeias de suprimentos;
- Por fim, a necessidade de integrar decisões entre as funções da cadeia de suprimentos, em instalações geograficamente dispersas.

Com os avanços na área de Tecnologia da Informação, decisões baseadas em fatos tornaram-se possíveis e cada vez mais necessárias. Estas, são possíveis pois base de dados empresariais existem, atualmente, em diversas organizações, embora melhorias e ajustes em flexibilidade e funcionalidade desses sistemas ainda sejam necessárias.

Empresas que falham em usufruir dos extensos recursos proporcionados por suas próprias bases de dados, como a criação de modelos, enfrentarão sérias desvantagens competitivas. Novos processos de negócios são necessários para explorar, de maneira satisfatória, todas as vantagens e insights apresentados pelos modelos. Segundo Hvolby

e Steger-Jensen (2010), a essência de um gerenciamento de cadeias de suprimento, baseado em fatos, possui três importantes dimensões:

- Integração funcional, a qual envolve atividades como aquisição, manufatura e distribuição interiormente à organização e entre seus fornecedores e consumidores;
- Integração geográfica dessas funções ao longo de instalações físicas localizadas em um ou vários continentes;
- Integração estratégica de decisões táticas e operacionais primárias no que diz respeito à aquisição e alocação de recursos e, execução do negócio.

2.6.1 VANTAGENS DE SISTEMAS APS

A literatura apresenta alguns benefícios potenciais, os quais podem ser atingidos ao utilizar sistemas de planejamento avançados (APS) em processos de planejamento. Segundo Jonsson *et al.* (2007), o uso de sistemas de suporte à decisão tem gerado diversos benefícios, tais quais: melhorias no processo de programação de transportes resultaram em redução de custos de frete; e a existência de um plano estratégico de manufatura, podendo economizar ainda mais, de forma geral.

Entretanto, segundo os autores, os maiores benefícios identificados foram os intangíveis, dentre os quais podemos citar: auxílio à gerência no entendimento das implicações de custos e serviços causadas por propostas alternativas de redes; e o aumento do nível de consciência e habilidades das pessoas envolvidas para resolução de problemas da cadeia de suprimentos.

Jonsson *et al.* (2007) explorou como sistemas APS podem ser utilizados de maneira a solucionar problemas de planejamento nos níveis tático e estratégico. Os efeitos principais percebidos em seu trabalho foram: redução total de custo; diminuição do custo de produção; menor quantidade de capital atrelada ao inventário; e efeitos positivos em relação à performance de entrega de produtos. Também foram identificados redução do tempo médio de planejamento e aumento de controle do fluxo de materiais e comunicação entre diferentes funções. Além destes fatores, é importante ressaltar que a visibilidade de

demanda e promessas de entrega foram positivamente afetadas, enquanto que incertezas de demanda e de processamento sofreram redução.

De maneira geral, o estudo conduzido por Jonsson *et al.* (2007) foi importante para a determinação que um sistema APS facilita o processo de alocação de demanda, além de permitir comunicação oportuna com outros aplicativos de tecnologia de informação da organização.

2.6.2 REQUISITOS BÁSICOS PARA IMPLANTAÇÃO DE SISTEMAS APS

É de extrema importância, para uma implantação bem-sucedida, que o processo de implementação envolva *stakeholders*, consultores e pessoas internas à organização.

Segundo Liker e Choi (2004), parte do sucesso de montadoras de origem oriental, como Toyota e Honda, pode ser atribuído em seu relacionamento singular com fornecedores da cadeia de suprimentos, também conhecido como *keiretsu*.

Isto é, uma rede de fornecedores unida que, de maneira contínua, aprende, aperfeiçoa-se e prospera em conjunto com as organizações pai.

Por mais de vinte anos, diversas empresas americanas têm tentado, sem sucesso, desenvolver relacionamento com seus fornecedores. Como parte do movimento de qualidade, iniciado nos anos 1980, essas empresas adotaram, extensivamente, o modelo de parceria japonês. Entretanto, por mais que estas organizações tenham criado cadeias de suprimentos que, superficialmente, assemelham-se ao modelo oriental, não houve mudanças quanto à natureza fundamental de seus relacionamentos com fornecedores.

Quando Toyota e Honda iniciaram operações de manufatura na América do Norte, nos anos 1980, encorajaram a criação de *joint ventures* entre seus fornecedores japoneses para com as empresas norte-americanas. Posteriormente, organizações, que pudessem atuar como fornecedores locais, foram selecionadas.

Toyota e Honda, inicialmente, entregaram pedidos pequenos de maneira a analisar parâmetros como custos, qualidade e entregas, uma vez aprovados, os respectivos fornecedores recebiam contratos mais substanciais, além de serem ensinados, à maneira oriental, de “fazerem negócios”.

De acordo com Liker e Choi (2004), existe uma hierarquia fundamental a ser seguida no desenvolvimento de relacionamentos entre fornecedores e parceiros:

1) Entendimento do funcionamento de seus fornecedores:

Montadoras orientais empregam tempo e recursos para entender, o máximo que conseguirem, sobre seus fornecedores. Elas acreditam que podem criar bases sólidas de relacionamento se souberam tanto de seus parceiros quanto eles mesmos. A Toyota utiliza o termo *gemba* como descrição da prática de enviar executivos para visualizar e entender como seus fornecedores operam.

2) Transformar a rivalidade entre fornecedores em oportunidade:

Executivos ocidentais acreditam que o sistema *keiretsu* é, fundamentalmente, ineficiente e inflexível. Assim, assumem que empresas estão restritas a adquirir componentes de um conjunto específico de fornecedores.

Existe uma diferença chave na maneira que organizações americanas e japonesas consideram a questão de rivalidade entre fornecedores. Empresas dos Estados Unidos, usualmente, promovem uma disputa entre fornecedores, escolhendo como parceiro, aquele que se sobressai, isto é, o mais apto. Companhias como Toyota e Honda também incitam a competição, especialmente quando não há concorrentes, entretanto isto é realizado apenas com o suporte de seus fornecedores já existentes.

3) Supervisionar fornecedores:

Fornecedores consultados na Europa, Estados Unidos e México assumem que parcerias ao estilo japonês são como relacionamento entre entidades iguais, assim empresas como Toyota não exerceriam tipo algum de controle, uma vez que são relacionamentos igualitários. Na verdade, montadoras japonesas acreditam que os papéis desempenhados por seus fornecedores são vitais, dessa maneira, utilizam-se de sistemas elaborados para medi-los e avaliá-los. A confiança da Toyota e Honda, por exemplo, para com seus fornecedores é sempre acompanhada de extremo controle.

4) Desenvolver capacidades técnicas dos fornecedores:

Companhias orientais têm investido intensamente no aperfeiçoamento das habilidades, de seus fornecedores de primeira camada, de desenvolvimento de novos produtos.

Empresas como Denso, Aisin e Araco tem a permissão, por parte da Toyota, para desenvolver componentes de maneira independente. Fornecedores norte-americanos ainda não possuem um relacionamento forte o suficiente para este tipo de abordagem.

5) Compartilhar informações intensamente, porém de maneira seletiva:

Empresas como Toyota e Honda compartilham informações de maneira cuidadosa quando estão desenvolvendo novos produtos em conjunto com seus fornecedores. A Toyota, por exemplo, divide os componentes em duas categorias: aqueles que podem ser desenvolvidos externamente; e aqueles que necessitam ser desenvolvidos internamente, mesmo de maneira colaborativa.

A Honda, por sua vez, realiza uma única reunião, denominada *jikon*, em que divulga e compartilha informações com seus fornecedores. O *jikon* ocorre, usualmente, em até três meses do fechamento do ano fiscal, que é quando a maioria dos fornecedores realizam decisões e planos estratégicos sobre decisões de investimentos.

6) Conduzir atividades conjuntas de melhorias:

Existe grande importância, por parte de empresas japonesas, atribuída às atividades de melhoria contínua. Enquanto alguns fabricantes de veículos dedicam de um dia a uma semana no desenvolvimento de fornecedores, a montadora Honda compromete 13 semanas para este fim. O objetivo primordial é abrir canais de comunicação e criar relacionamentos.

Dessa maneira, nota-se que o comportamento ocidental está, de maneira geral, mais focado no uso de ferramentas para superar dificuldades de relacionamento, motivado pelo pensamento a curto prazo e alto grau de individualidade de culturas ocidentais (LIKER & HOSEUS, 2010).

Em contrapartida, a cultura oriental valoriza atributos como pensamento a longo prazo e alto grau de coletivismo, assim a criação de laços é valorizada em relacionamentos, inclusive como medida de evitar, ou pelo menos reduzir, incertezas inerentes aos processos produtivos.

2.6.3 EXEMPLO NA LITERATURA

Wang e Liu (2011), assim como outros autores, defendem que o modelo de planejamento de produção de sistemas ERP não são mais capazes de acompanhar, de maneira efetiva, as diversas mudanças no mundo empresarial, de acordo com a Figura 3.

Assim, os autores propõem um modelo de integração entre sistemas ERP e APS, tendo como base de atuação o CORBA, que se trata de uma arquitetura padrão visando simplificar a troca de informações entre sistemas distribuídos heterogêneos.

Wang e Liu (2011) ressaltam as vantagens do uso de um sistema APS no planejamento da produção, tais como o amplo escopo abordado pela ferramenta – considerando materiais, equipamentos, pessoas, demanda do cliente, fornecedores, entre outros fatores relevantes – facilitando o processo de tomada de decisão.

Segundo o estudo conduzido pelos autores, os modelos matemáticos e suas lógicas de programação de alto nível devem ser incorporados ao ERP em um ciclo fechado, não podendo substituí-lo. O sistema APS obtém os dados necessários de planejamento do sistema ERP e realiza as programações e atividades de otimizações baseando-se em recursos limitados. Uma vez gerados os dados otimizados, estes serão enviados ao ERP a fim de gerar as correspondentes ordens de produção, compra de matéria-prima, entre outras, de acordo com a Figura 3.

Figura 3 – Modelo de integração dos sistemas ERP e APS. Fonte: Wang e Liu (2011).

Wang e Liu (2011) concluem que o modelo de integração proposto, baseado no padrão de arquitetura CORBA, pode ser implantado em diferentes plataformas em um ambiente distribuído. Do ponto de vista organizacional, os autores afirmam que o modelo possui valor prático, devido à sua facilidade de implementação e incorporação a sistemas ERP existentes.

3. MÉTODO DE PESQUISA

A empresa objeto de estudo deste trabalho, denominada empresa A, atua como fornecedor de primeira camada às principais montadoras de veículos nacionais, utilitários e de transporte de carga. Os itens produzidos visam o abastecimento destas montadoras assim como o mercado de reposição, situação, esta última, em que se configura a maior margem de contribuição.

A empresa estudada, por estar inserida em uma robusta, entretanto instável, cadeia de suprimentos automotiva apresenta problemas e empecilhos que comprometem parte da eficiência dos processos produtivos.

Uma vez definido o objeto de estudo desta pesquisa, é importante delimitar os procedimentos a serem seguidos de maneira que o propósito final possa ser atingido. Para isso, é importante classificar e documentar os tipos e métodos de pesquisa.

Quanto à natureza deste trabalho, trata-se de uma pesquisa aplicada. De acordo com Gerhardt e Silveira (2009), a pesquisa aplicada possui o objetivo de gerar conhecimentos para a aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos, envolvendo verdades e interesses locais.

Dessa forma, quanto à abordagem deste trabalho de pesquisa, esta pode ser classificada como uma pesquisa qualitativa. Segundo Gerhardt e Silveira (2009), a pesquisa qualitativa não possui grande preocupação quanto à representatividade numérica, mas sim com o aprofundamento da compreensão de uma organização, grupo social, entre outros.

Ainda segundo os autores, os pesquisadores que utilizam métodos qualitativos buscam explicar o porquê das coisas, exprimindo aquilo que convém ser feito, entretanto não quantificam os valores e as trocas simbólicas nem se submetem à prova de fatos uma vez que os dados analisados são não-métricos e se valem de diferentes abordagens.

Dessa maneira, concluem Gerhardt e Silveira (2009), a pesquisa qualitativa preocupa-se, portanto, com aspectos da realidade que não podem ser quantificados, concentrando-se na compreensão e explicação da dinâmica das relações sociais.

Em relação aos objetivos da pesquisa, a mesma pode ser classificada como pesquisa exploratória. Segundo Gil (2010), a pesquisa exploratória tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, visando torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses.

Pode-se dizer que estas pesquisas possuem como objetivo principal o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições. Assim, seu planejamento é bastante flexível, possibilitando a consideração dos mais variados aspectos relativos ao fato estudado.

Ainda segundo Gil (2010), as pesquisas exploratórias envolvem, na maioria dos casos, levantamentos bibliográficos, entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado e a análise de exemplos que auxiliem na compreensão do problema.

Todo o desenvolvimento do trabalho, quanto ao estudo de caso, foi fundamentado no acesso a documentos do processo de fabricação disponibilizado pela empresa e reuniões periódicas que ocorreram no período de 2015 a 2016.

Por documentos entende-se as planilhas com dados de controle e parâmetros definidos para a operação no chão de fábrica, além dos indicadores de processo e mapas do fluxo de valor das células de manufatura.

O autor também desenvolveu um trabalho de mapeamento do fluxo de abastecimento das células de manufatura quanto as distâncias percorridas pelo abastecedor e o tempo de abastecimento.

Um detalhamento do método de pesquisa será apresentado no tópico 4, denominado Estudo de Caso.

4. ESTUDO DE CASO

A modalidade de pesquisa deste trabalho pode ser classificada como um estudo de caso. Como método de pesquisa, o estudo de caso é amplamente utilizado em diversas situações, de maneira a contribuir ao nosso conhecimento dos fenômenos organizacionais, grupais, individuais, sociais, políticos e relacionados (YIN, 2015).

O estudo de caso, apresentado neste trabalho foi desenvolvido em conjunto com uma multinacional alemã, do setor automotivo, cuja receita supera os €18 bilhões. Dentre suas plantas existentes no Brasil, aquela que colaborou no desenvolvimento deste trabalho está localizada no interior do estado de São Paulo, sendo responsável por suprir demandas oriundas dos mercados interno (nacional) e externo (internacionais).

Segundo Gil, 2010, o estudo de caso consiste no estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento.

Durante muito tempo, nas ciências, o estudo de caso foi considerado como procedimento pouco rigoroso, servindo apenas para estudos de natureza exploratória. Atualmente, entretanto, é encarado como o delineamento mais adequado para a investigação de um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto real, em que os limites entre o fenômeno e o contexto não são claramente percebidos (YIN, 2015).

Dentre os vários propósitos da utilização do estudo de caso, segundo Gil (2010), podemos citar:

- Explorar situações da vida real cujos limites não estão claramente definidos;
- Preservar o caráter unitário do objeto estudado;
- Descrever a situação do contexto em que está sendo feita determinada investigação;
- Formular hipóteses ou desenvolver teorias;
- Explicar as variáveis causais de determinado fenômeno em situações muito complexas que não possibilitam a utilização de levantamentos e experimentos.

O presente trabalho busca o entendimento e comparação de determinados parâmetros e cenários, por meio do desenvolvimento e, consequente aplicação, de um

modelo de programação, fundamentado nas premissas de um *software* APS, especializado em procedimentos de programação da produção.

4.1 PROTOCOLO – ESTUDO DE CASO

Conforme apresentado anteriormente, o estudo de caso foi realizado em uma única empresa, sendo esta a unidade-caso deste estudo. Gil (2010), identifica três modalidades de estudos de caso: intrínseco, instrumental e coletivo.

Podemos classificar o estudo realizado como intrínseco, uma vez que o caso constitui o próprio objeto da pesquisa, assim há a intenção de conhecê-lo em profundidade, sem qualquer preocupação com o desenvolvimento de alguma teoria.

De acordo com Yin (2015), um protocolo de um estudo de caso contém o instrumento, o procedimento e as regras gerais que deveriam ser seguidas ao utilizar o instrumento.

Ainda segundo o autor, o protocolo é uma das táticas principais utilizadas para se aumentar a confiabilidade da pesquisa de estudo de caso e destina-se a orientar o pesquisador a conduzir o estudo. A Tabela 1 apresenta o protocolo de pesquisa do presente trabalho.

Classificação da pesquisa	Pesquisa qualitativa quanto à abordagem, quanto à sua natureza, trata-se de uma pesquisa aplicada. Em relação aos objetivos, trata-se de uma pesquisa exploratória e quanto à modalidade, um estudo de caso.
Unidade-caso	Uma unidade fabril (planta) de uma empresa multinacional do setor automobilístico.
Local	Interior do Estado de São Paulo.
Tempo	De Março de 2015 a Dezembro de 2016.
Questão de pesquisa	- O problema do sincronismo de áreas correlatas dos processos de fabricação executados no chão de fábrica que

	convergem o fluxo para linhas de montagem, pode ser resolvido ou minimizado com o uso dos <i>softwares</i> APS em um ambiente de manufatura celular?
Procedimentos de pesquisa	Visitas técnicas que consistem de entrevistas com representantes de áreas distintas da organização e acesso a documentos internos da planta.

Tabela 1 – Protocolo do estudo de caso. Fonte: Próprio autor.

O protocolo de pesquisa deste trabalho, apresentado na Tabela 1, atende ao modelo de protocolo proposto na literatura, o qual deve incluir as seguintes seções:

- Visão global do projeto: informa acerca dos propósitos e cenários em que será desenvolvido o estudo de caso;
- Procedimentos de campo: envolvem acesso às organizações ou informantes, material e informações gerais sobre procedimentos a serem desenvolvidos.

Do ponto de vista dos critérios de qualidade da pesquisa, Yin (2015), apresenta alguns testes comumente utilizados para a determinação da qualidade, são eles: validade do construto (interna e externa) e confiabilidade.

A validade interna do construto dá-se por meio da revisão bibliográfica realizada, de maneira a incorporar fontes múltiplas de evidências que possam corroborar ou fazer oposição ao encadeamento de informações observado.

Em relação à validade externa do construto, não foi objeto de preocupação desta pesquisa a criação de uma lógica de replicação, por se tratar da exploração de apenas uma única unidade-caso.

A confiabilidade da pesquisa está relacionada à utilização de um protocolo de estudo de caso, definindo procedimentos e padrões de coleta de dados.

4.2 PROCEDIMENTOS ADOTADOS

Segundo Gil (2010), o procedimento de coleta de dados no estudo de caso é mais complexo de comparado à outras modalidades de pesquisa. Isso se deve ao fato de que na maioria das pesquisas utiliza-se uma técnica básica para a obtenção de dados, enquanto

que no estudo de caso, utiliza-se mais de uma técnica. Obter dados mediante diversos procedimentos é fundamental para garantir a qualidade dos resultados obtidos, já que estes são consequência da convergência ou divergência das observações realizadas.

Gil (2010), afirma que por meio de procedimentos diversos de observação a validade do estudo pode ser alcançada, evitando que ele fique subordinado à subjetividade do pesquisador.

Neste projeto de pesquisa, a coleta de dados englobou entrevistas, na planta da empresa, com os responsáveis pelas áreas de Engenharia de Processos, Logística e Abastecimento, além da obtenção de dados, relativos aos processos de fabricação, provenientes de documentação interna da organização, os quais foram cedidos para o desenvolvimento deste estudo.

Ainda em relação à coleta de dados, diversas visitas técnicas foram realizadas com o intuito de acompanhar e compreender, de maneira mais profunda, o funcionamento de processos chaves da manufatura, como o processo de abastecimento de componentes.

4.3 ABASTECIMENTO DE COMPONENTES.

De maneira a complementar e enriquecer a pesquisa sobre os impactos produzidos na manufatura pelo uso de um *software* de planejamento avançado (APS), foi realizado um estudo sobre o abastecimento de componentes nas células de manufatura da empresa objeto de estudo. O abastecimento de componentes é resultado direto da programação da produção, a qual visa, dentre outras coisas:

- Evitar liberação de ordens de produção que não possuam materiais em estoque;
- Equilibrar os níveis de inventário;
- Em conjunto com outras ferramentas, como softwares APS, gerar diferentes cenários de maneira a auxiliar a tomada de decisões.

Eventuais ganhos relacionados ao gerenciamento da programação da fábrica podem incluir a minimização dos impactos negativos de produtividade na fábrica e o correto atendimento da demanda dos clientes.

Este estudo, mais detalhado, do abastecimento da empresa considerada tem como objetivo mapear os processos de abastecimento de componentes, identificando possíveis inconsistências existentes e analisando os critérios identificados pelo PCP da fábrica para geração da programação.

Em seguida, devemos avaliar os níveis de inventário e determinar se os mesmos são necessários ou encontram-se superestimados. Além disso, é importante determinar e analisar de que maneira esses níveis estão balanceados e dimensionados, considerando todos os componentes.

Resumidamente, pode-se determinar que há problemas de dimensionamento de inventário caso haja constatação de baixo nível de estoque para itens de alto giro, ou seja, aqueles que são constantemente consumidos nas operações de manufatura.

Por outro lado, não se pode afirmar que há falhas no dimensionamento do inventário se os níveis de estoque de itens com baixo giro, isto é, pouco utilizados, forem baixos. Assim, investigações devem ser realizadas para a verificação do dimensionamento e balanceamento dos níveis de inventário existentes.

Esta etapa dá suporte ao modelo de programação, que refletirá o desbalanceamento existente.

Este estudo também visa dar suporte à programação do abastecimento, a qual se torna uma consequência do modelo de programação da fábrica.

4.3.1 INTRODUÇÃO AO ABASTECIMENTO DE COMPONENTES

Segundo informações coletadas no estudo de caso a partir de documentos internos da organização, o processo de abastecimento de componentes, na empresa objeto de estudo, é parte de um fluxo logístico que compreende cinco etapas principais, também denominadas de atividades operacionais. São elas:

- 1) Recebimento;
- 2) Armazenagem;
- 3) Abastecimento;
- 4) Corredor Central;
- 5) Expedição.

A Figura 4, mostra de maneira resumida, o fluxo logístico existente assim como suas atividades operacionais principais, as quais serão apresentadas mais detalhadamente em seguida.

A etapa de recebimento, segundo as diretrizes da companhia, é diretamente responsável pelas atividades de análise de itens em transferência que são considerados críticos, isto é, aqueles componentes que estão atrasados ou possuem a data limite de execução mais próxima.

Além disso, as atividades de recebimento de materiais e liberação dos mesmos para a armazenagem, mediante apresentação de notas fiscais, também fazem parte do conjunto de tarefas desta etapa.

Na etapa seguinte, de armazenagem, ocorre a alocação de determinado item em seu respectivo lugar no inventário. O armazenamento deve respeitar normas de segurança, observando-se limite máximo de empilhamento, dentre outras coisas.

Periodicamente, os itens armazenados são avaliados de maneira a identificar eventual disponibilidade de armazenamento, por exemplo, a constatação de excessos de determinado componente.

Figura 4 – Fluxo logístico da empresa estudada. Fonte: Dados internos da empresa.

A atividade operacional seguinte, denominada de abastecimento, segundo o fluxo logístico da organização, é responsável por verificar a sequência programada, ou seja, a sequência de operações da ordem de montagem para cada célula de produção, incluindo, obviamente, o abastecimento das células de componentes, o qual compreende tarefas como a localização desses componentes no estoque, retirando-os segundo critérios de ordenação FIFO (*First In First Out*), e por fim, o abastecimento das áreas de armazenagem de componentes próximas às células.

Também faz parte da atividade de abastecimento a gestão do abastecimento, que é caracterizada pela manutenção dos estoques, verificação dos níveis de inventário e retorno de matéria-prima em excesso, além de embalagens vazias, para os locais adequados na fábrica. Na atividade operacional denominada corredor central ocorre a verificação, em cada célula produtiva, das ordens a serem produzidas, identificando os itens críticos, caso existam, assim como os demais componentes e embalagens necessárias para realizar o abastecimento efetivamente.

Corredor central refere-se às células de manufatura dispostas ao longo do corredor central da fábrica, ou seja, todas as células. Também fazem parte da atividade corredor central: a gestão de abastecimento e manutenção de estoques; o abastecimento das células de componentes e a aprovação, pela área de qualidade, dos produtos e subprodutos produzidos até o momento. Por fim, há a atividade operacional de expedição, nesta encontram-se subatividades como faturamento e conferência dos pedidos de montadoras, além da separação dos itens a serem expedidos. Também é realizada a gestão dos inventários e devolução de itens desnecessários – materiais em excesso e/ou erro nos pedidos.

4.4 MODELAGEM DE PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO

O principal objetivo de um *Production Scheduling Model* (Modelo de Programação da Produção), de um sistema de manufatura distribuído, é otimizar o uso dos recursos de processamento de modo sistêmico, com ênfase no sincronismo entre as ordens de produção, cujos componentes devem ser montados ao longo do fluxo, convergindo para o produto acabado.

Trata-se, portanto, da somatória dos tempos de processamento, *setup* e movimentação na transferência (*Throughput elements*) de um recurso de processamento

para o outro de acordo com a *Bill of Material* (BOM) do produto acabado e a respectiva *Bill of Processes* (BOP) de cada componente.

Sistemas *Material Requirements Planning* (MRP) calculam o tempo total do fluxo linearmente determinando um *Lead Time* fixo e, contudo, não condizente com o *Lead Time* realizado na operação, além de desconsiderar o tempo de transferência da tarefa entre recursos com base no fluxo da operação.

Nahmias (p. 277, 2009) destaca que a variabilidade (τ) existente entre o *Lead Time* calculado linearmente e o *Lead Time* efetivamente realizado na operação é muito difícil de ser mensurada e incorporada, o que dentro do escopo do procedimento de dimensionamento do *Lead Time* dos sistemas MRP acaba por representar uma forte restrição na definição de políticas de otimização de inventário e definição do plano de capacidade finito, principalmente por se tratar de uma lógica direcionada para o plano de capacidade infinito.

Segundo o autor, além da dificuldade de se mensurar a variabilidade (τ) do *Lead Time* o problema também é fortemente influenciado nos casos caracterizados pela condição de contorno que assume sucessivos *Lead Times* como variáveis aleatórias independentes, o que dificulta fortemente a sincronização no processamento de diferentes ordens de produção que se completam ao longo do processo, devido à perda da visibilidade sistêmica do fluxo de produção.

Assim, de modo que duas ordens de produção que se cruzam em um determinado momento para serem convertidas em um único componente, na sequência de fabricação, não necessariamente devem ser recebidas na mesma sequência na qual elas foram alocadas, acrescentando um *gap* de tempo no *Lead Time* de produção do produto acabado difícil de mensurar.

Lödding (p. 144, 2013) complementa que Métodos para a geração de ordens *Multi-level* criam ordens transversalmente através do número de níveis da lista de materiais.

O que neste caso, está relacionado à aplicação de métodos de dimensionamento do *Lead Time* que consideram as necessidades dependentes dos materiais, comunicando de imediato as informações geradas a partir da soma linear dos tempos de processamento,

dos diferentes componentes da árvore do produto, o que acaba por convergir para atender as necessidades individuais dos clientes inerentes ao consumo do produto acabado ou item pai.

O que, segundo o autor é complexo devido a basicamente quatro razões principais:

- 1) A liberação para a produção da ordem do cliente acaba por consolidar o processo de criação de um número significativo de outras ordens, dependendo do número de níveis da estrutura de materiais do produto acabado e do número de componentes por nível, o que influencia a ramificação da árvore do produto quanto ao crescimento do número de itens que devem ser providenciados nos níveis abaixo, em detrimento dos processos de fabricação requisitados;
- 2) O resultado é o dimensionamento da quantidade de um componente deve ser incorporado em um mesmo produto acabado, conjunto ou subconjunto;
- 3) Determinados componentes são integrados a mais de um produto acabado, podendo ser um componente multiuso no processamento de diferentes produtos acabados. Consequentemente, o número de possíveis combinações de necessidades aumenta significativamente;
- 4) Há a necessidade da coordenação da programação das ordens de manufatura dos componentes individuais sem perder de vista o sincronismo que deve ocorrer entre as ordens de produção, principalmente devido a relação de interdependência entre as ordens. O que devido a variabilidade natural que ocorre na operação no chão de fábrica, torna o *Lead Time* não fixo com variabilidade difícil de mensurar. Louly *et al.* (2012) destaca que um número relativamente pequeno de publicações aborda a variabilidade do *Lead Time*. Para Cannalla *et al.* (2016) a estocasticidade intrínseca do *Lead Time* é um fator operacional chave e de forte impacto no controle de inventário das cadeias de suprimentos.

Para o autor, tais razões dentro deste ambiente acabam por conduzir o cálculo dos *Lead times* com base apenas na demanda de um componente, e de apenas um nível da estrutura de materiais, não considerando, em detalhe, os demais itens que se encontram

anteriormente à obtenção do produto acabado no processo de montagem, por exemplo, considerando apenas a estrutura de materiais do produto acabado do 1º nível.

A razão é que o tempo de processamento (*throughput time*) é requerido para produzir um produto a partir dos seus respectivos componentes, com os *Lead Times* somados linearmente, as diferenças do cálculo do *Lead Time* planejado e executado são consideradas como o tempo de processamento, ou de produção (*throughput time*), frequentemente levado em consideração com um desvio definido por *lead time offset*, o qual é também fortemente influenciado pela demanda dos componentes com o tempo de execução cronologicamente deslocado da data de entrega para o presente, respeitando a relação de interdependência entre os itens nível a nível da estrutura de materiais.

Para o autor é neste ponto que se os *lead times* são considerados como um parâmetro de planejamento fixo, eles não necessariamente devem assegurar que as capacidades requeridas estarão realmente disponíveis no momento programado, para a execução.

Além disso, em produções *make-to-stock* há o risco de que flutuações de demanda se tornem extremamente danosas, como um resultado do procedimento de cálculo abordar o problema com base no *lead time offset*.

Lödding (p. 144, 2013) considera que o *Lead time offset*, por ser uma margem de aprovisionamento de um componente, implica naturalmente no desvio do tempo de processamento de um item, devido, principalmente, à relação de interdependência do tempo de processamento dos componentes que o precedem, na estrutura de materiais, a qual acaba por ser ignorada na programação do ciclo de produção das listas de tarefas.

Uma alternativa para evitar esta situação, é a possibilidade de reprogramar a data das necessidades dependentes dos componentes subordinados, de acordo com o *Lead time offset*, definido a partir da BOM. O problema dos sistemas MRP é o fato do procedimento destes sistemas estar apoiado simplesmente no *Offset do lead time* como técnica utilizada para aplicar a programação em atraso, o que, consequentemente, implica em desvios significativos entre o *Lead Time* calculado e o realizado, devido ao *Lead time offset* simplesmente representar a diferença entre o início, ou liberação de uma tarefa, e o seu tempo de finalização, baseado na duração ou *lead time* calculado, através de uma

O esquema, apresentado na Figura 5, corresponde aos elementos de transferência (*throughput elements*) para todas as ordens de aquisições, manufatura e montagens, baseando-se na programação para trás (*backwards scheduling*).

Nos casos em que o tempo pulmão de entrega (*delivery time buffer*) é planejado, o elemento de transferência de uma ordem então é finalizado no ponto em que a ordem de montagem deve ser iniciada, e encontra-se no nível mais alto da BOM.

O tempo de entrega total pode ser lido a partir do tempo planejado, como a duração a partir do início mais cedo, até o tempo final mais tarde de todos os elementos transferidos. Os *lead times* são armazenados como parâmetros do sistema de planejamento e controle da produção.

4.4.1 NOTAÇÃO MATEMÁTICA

$j_1, j_2, \dots, j_n$ – Conjunto de tarefas que devem ser alocadas nas máquinas;

$i_1, i_2, \dots, i_n$ – Conjunto de tarefas precedentes ao conjunto de tarefas $j_1, j_2, \dots, j_n$ que devem ser alocadas nas máquinas;

$k_1, k_2, \dots, k_m$ – Conjunto de máquinas que realizarão as tarefas;

$step_1, step_2, \dots, step_m$ – Conjunto de recursos da montagem que realizarão as tarefas;

$q_{p(j)} \Big|_1^{q_{p(j)}}$ – quantidade a ser processada do produto p da tarefa j.

$t_{proc(jk)}$ – *period of time* ($t = 1, \dots, T$) (*duration per unit processed*).

P_{jk} – tempo total de processamento da tarefa j na máquina k ($t_{proc(jk)} \times q_{p(j)} \Big|_1^{q_{p(j)}}$).

$\Delta_{jk, step \rightarrow (k+1, step+1)}$ – tempo de transferência da quantidade $q_{p(j)} \Big|_1^{q_{p(j)}}$ de itens da tarefa j da tarefa k para a tarefa k + 1 ou para o *step* de montagem ou do *step* de montagem para o *step* de montagem *step* + 1.

$\theta_{jk,l}^*$ – número de lotes (**l**) de transferência da quantidade $q_{p(j)} \Big|_1^{q_{p(j)}}$ da tarefa j a ser processada na máquina k ou *step* de montagem.

τ – posição do lote (**l**) de transferência da quantidade $q_{p(j)} \Big|_1^{q_{p(j)}}$.

$\frac{\delta P_{((\tau))j,k}}{\theta_{jk,l}^*}, \frac{A_{(\tau)j,step}}{\theta_{jk,l}^*}$ – tempo de espera do lote de transferência após a movimentação

para o local do próximo processo.

$\mathcal{E}$ – tempo total de espera. $\mathcal{E} = \delta * (n - 1)$.

4.4.2 ESTUDO PRELIMINAR DAS PROPRIEDADES

Considerando que, uma operação de processamento ($P_{jk} = (t_{proc(jk)} \times q_{p(j)}|_1^{q_{p(j)}})$) ou montagem ($A_{jstep} = (t_{ass(jstep)} \times q_{a(j)}|_1^{q_{a(j)}})$) precede uma operação de movimentação ou transporte de componentes, conjuntos ou subconjuntos com duração $\Delta_{jk \rightarrow (k+1,step)}$, o número de lotes de transferência ($\theta_{jk,l}^* \in Z_+^*$) é função da razão do tempo de processamento pelo tempo de movimentação. Contudo, o número de transferências a serem realizadas para atender a uma determinada demanda, é determinado pela expressão (1) e representado na Figura 6.

(1)

$$\theta_{jk,l}^* = [\theta] = \left\lceil \frac{P_{jk}}{\Delta_{jk \rightarrow (k+1,step)}} \right\rceil$$

A montagem de um produto customizado, com *lead time* de fabricação e montagem de médio e longo prazo, como, por exemplo, a montagem do conjunto PA, a partir da união de vinte módulos ou vinte conjuntos que se complementam, de acordo com a Figura 6, e dependendo da complexidade dos processos necessários a obtenção, pode representar a dimensão do impacto da definição do processo de liberação dos conjuntos ou módulos para a montagem considerando, como exemplo, a entrega de 20 conjuntos PA similares, com especificidades que os tornam, a partir de uma estrutura padrão, produtos com determinado nível de customização, de acordo com a Figura 6.

Figura 6 – Estrutura de Materiais (*Bill of Material* (BOM)). Fonte: Próprio Autor.

O presente trabalho considera que o ponto chave deste processo, com ênfase no problema de sincronismo do fluxo de produção, a fim de minimizar o *makespan*, é determinar, a partir da estrutura de materiais dos produtos, o momento ideal de transferência dos módulos entre os processos de fabricação e montagem existentes. De modo que o processo em si continue a produzir, ou montar, continuamente as demais unidades de módulos similares a serem transferidas durante o processo como um todo, lembrando que a estrutura de materiais invertida representa o fluxo na operação, a partir do conceito de *layout* no chão de fábrica, no formato de raias definidas de acordo com as particularidades de fabricação dos respectivos conjuntos, com base no conceito de modularização.

4.4.3 FLUXO DE OPERAÇÕES A PARTIR DA ESTRUTURA MODULAR

O principal objetivo do fluxo de operações de um sistema produtivo é a entrega dos produtos finais no menor tempo de fluxo (*makespan*), sem onerar o nível de inventário durante os processos de fabricação e montagem.

Neste caso, o tempo de movimentação pode impactar negativamente no resultado final do *makespan*, não somente devido à complexidade da atividade de manuseio e transporte, mas também, devido ao problema de sincronismo da transferência dos itens entre os recursos de fabricação e montagem, afetado diretamente pelo tempo despendido à movimentação.

Devido à ênfase dada, atualmente, ao uso dos princípios básicos de sistemas distribuídos na concepção do projeto e da operação de sistemas produtivos mais flexíveis, a modularização da estrutura de materiais dos produtos e da estrutura de processos,

diretamente vinculada à fabricação e montagem de componentes, subconjuntos e conjuntos, acaba por dividir o fluxo de produção em partes inter-relacionadas, as quais uma vez alinhadas, de acordo com uma sequência lógica de execução, permitem tornar o fluxo muito mais eficaz e eficiente do ponto de visto do sincronismo entre movimentação e processamento.

Neste caso, independentemente da quantidade a ser consumida de cada item por unidade do produto final, podendo ser produtos finais personalizados produzidos unitariamente, e considerando a modularização dos produtos, os sistemas produtivos podem fabricar módulos específicos em maior número, uma vez que produtos distintos por projetos possam atender a uma necessidade específica de um determinado cliente unitariamente quanto ao produto final, mas por um número superior de unidades que, mesmo com determinado nível de customização, são utilizados em mais de um projeto, como por exemplo, a fabricação de navios de grande porte compostos por módulos padrão.

O presente trabalho busca a determinação do *Lead Time Offsetting* a partir do *Enterprise Planning offsets lead times*.

4.4.4 LEAD TIME BALANCEADO A PARTIR DA LISTA DE MATERIAIS

Em situações em que ordens de produção e montagem tem longos *lead times*, este procedimento de *scheduling* pode resultar em componentes sendo fornecidos muito mais cedo do que eles realmente são necessários no processo de fabricação. Para evitar esta situação, as datas requeridas, dependentes das datas de entrega dos itens pais, ou subconjuntos e conjuntos dos componentes, os quais estes encontram-se subordinados, podem ser reprogramadas através do tempo de fluxo (*follow-up time*). Com o tempo de fluxo (*follow-up time*) relacionado às datas das necessidades requeridas dos componentes, é possível ajustar, ou deslocar, considerando um tempo adicional de execução, a data de entrega no futuro, a partir da data de início da ordem.

O *lead-time offset* (em dias úteis) para o componente considera a relação da data de início para a produção do componente, assim como a data de início da produção, a fim

de atender a data de início da montagem. Este valor não é incluído no *lead time* de programação, para uma lista de tarefas.

Tal momento é definido pelo parâmetro θ partindo de uma quantidade mínima, a qual o tempo de processamento total individual de cada conjunto é igual ou maior do que o tempo de transferência das partes, que, conseqüentemente, influencia o *makespan* da montagem considerando todo o ciclo da operação, do início do processo de fabricação dos conjuntos individualmente até a entrega do produto acabado (Conjunto PA).

De acordo com a estrutura do Conjunto PA definida na Figura 6, o produto é montado com 20 outros Conjuntos ou Módulos de acordo com as quantidades indicadas.

Contudo, a operação no chão de fábrica envolve o processo de montagem do Conjunto PA e o processo de montagem individual de cada Conjunto, ou seja, a partir do uso de recursos de montagem dedicados exclusivamente para cada tipo de conjunto específico, com áreas de montagem localizadas em diferentes áreas por processo.

Tempos de *setup*, tempos de processamento e tempos de movimentação de cada um dos conjuntos encontram-se descritos na Tabela 2.

O parâmetro ' θ ' indicado na Tabela 2, define o tempo mínimo de liberação de um número de conjuntos, de cada conjunto específico, a serem transferidos para o próximo processo, no caso a montagem final, de modo contínuo e sistemático, sem interromper o processo de fabricação de origem, o qual deve se manter em operação até o final do total de itens a serem transferidos.

Como definido inicialmente, o tempo total de processamento do número de conjuntos que devem ser transferidos, por intervalo de tempo, dimensionado com base no ' θ ' para o processo seguinte, não deve ser menor do que o tempo de movimentação, como uma regra da operação, a fim de manter o sincronismo de transferência sem interromper os processos de fabricação e montagem posteriores.

O objetivo é manter um fluxo contínuo de transferência durante o processo de fabricação dos conjuntos em fabricação ou montagem.

O tempo total de processamento calculado e indicado na Tabela 2 representa o resultado da multiplicação do tempo de processamento unitário de cada conjunto pela

demanda do conjunto, de acordo com a estrutura de materiais da Figura 6 e o valor do parâmetro ‘ θ ’, isto é, a divisão do tempo total de processamento do conjunto pelo seu respectivo tempo de movimentação, uma vez que o tempo de processamento total de parte da quantidade total, a ser processada do item, é a quantidade de transferência, a qual não deve ser inferior ao tempo de movimentação. O θ^* representa o intervalo de liberação do conjunto PA, o qual deve ser definido a partir do ‘ θ ’ dos Conjuntos utilizados em sua montagem.

A expressão matemática (2) indica o cálculo do tempo total de processamento por conjunto.

(2)

$$P_{jk} = (t_{\text{proc}} \times q_{p(j,k)}) \Big|_1^{q_{p(j,k)}}$$

Sendo:

- 1) t_{proc} – tempo de processamento por unidade de cada conjunto;
- 2) $\Delta t_{p(j,k \rightarrow k+1)}$ – tempo de movimentação da tarefa j da máquina k para a máquina k + 1;
- 3) $q_{p(j,k)}$ – a quantidade de itens em processamento do produto, ou conjunto p, na operação j na máquina k (pode variar de 1 unidade a uma quantidade $q_{p(j,k)}$ a ser dimensionada, considerando que P_{jk} deve ser maior ou igual a $\Delta t_{j,(k \rightarrow k+1)}$);
- 4) $\theta = \left\lceil \frac{P_{jk}}{\Delta t_{p(j,k \rightarrow k+1)}} \right\rceil \geq 1$.

	Tempo de <i>Setup</i>	Quant	Tempo de Processamento	Tempo de Movimentação	Tempo Total de Processamento	θ	Quantidade ($\theta = 4$)	Quant. Ajustada ($\theta = 4$)	$C_{m\acute{a}x}$ ($\theta = 4$)	Q ($\theta = 9$)	Quant. Ajustada ($\theta = 9$)	$C_{m\acute{a}x}$ ($\theta = 9$)
Conj. PA	1,000	20	0,42	-----	8,40	θ^*	$20/4 = 5$	5	22,40	$20/9 = 2,22 = 3$	3	33,46
Conj. 01	1,200	40	0,17	2,0	6,80	$3,40 \rightarrow 4$	$40/4 = 10$	12	13,64	$40/9 = 4,44 = 5$	12	21,56
Conj. 02	1,500	20	0,43	1,5	8,64	$5,76 \rightarrow 6$	$20/4 = 5$	5	11,64	$20/9 = 2,22 = 3$	4	18,552
Conj. 03	1,000	40	0,09	1,0	3,56	$3,56 \rightarrow 4$	$40/4 = 10$	12	11,468	$40/9 = 4,44 = 5$	12	14,408
Conj. 04	2,000	60	0,12	2,0	7,20	$3,60 \rightarrow 4$	$60/4 = 15$	17	14,44	$60/9 = 6,67 = 7$	17	22,36
Conj. 05	1,400	40	0,18	2,0	7,20	$3,60 \rightarrow 4$	$40/4 = 10$	12	12,04	$40/9 = 4,44 = 5$	12	22,84
Conj. 06	0,800	80	0,09	1,0	7,20	$7,20 \rightarrow 8$	$80/4 = 20$	20	12	$80/9 = 8,89 = 9$	12	14,22
Conj. 07	1,300	40	0,16	2,0	6,40	$3,20 \rightarrow 4$	$40/4 = 10$	13	13,78	$40/9 = 4,44 = 5$	13	22,02
Conj. 08	1,400	20	0,34	2,0	6,80	$3,40 \rightarrow 4$	$20/4 = 5$	6	13,84	$20/9 = 2,22 = 3$	6	21,76
Conj. 09	1,200	100	0,08	2,0	7,80	$3,90 \rightarrow 4$	$100/4 = 25$	26	13,628	$100/9 = 11,11 = 12$	26	21,452
Conj. 10	1,300	60	0,30	2,0	18,0	$9,00 \rightarrow 9$	$60/4 = 15$	15	21,3	$60/9 = 6,67 = 7$	7	22,2
Conj. 11	1,000	40	0,20	1,0	8,00	$8,00 \rightarrow 8$	$40/4 = 10$	10	12,4	$40/9 = 4,44 = 5$	5	14,34
Conj. 12	1,000	80	0,08	1,0	6,40	$6,40 \rightarrow 7$	$80/4 = 20$	20	12	$80/9 = 8,89 = 9$	13	14,38
Conj. 13	1,400	40	0,15	1,5	6,00	$4,00 \rightarrow 4$	$40/4 = 10$	10	12,8	$40/9 = 4,44 = 5$	10	16,4
Conj. 14	1,300	100	0,06	1,5	6,00	$4,00 \rightarrow 4$	$100/4 = 25$	25	12,7	$100/9 = 11,11 = 12$	25	16,3
Conj. 15	2,000	40	0,17	2,0	6,80	$3,40 \rightarrow 4$	$40/4 = 10$	12	14,44	$40/9 = 4,44 = 5$	12	22,36
Conj. 16	2,200	80	0,12	3,0	9,60	$3,20 \rightarrow 4$	$80/4 = 20$	25	17,2	$80/9 = 8,89 = 9$	25	32,2
Conj. 17	1,200	60	0,13	2,0	7,80	$3,90 \rightarrow 4$	$60/4 = 15$	16	13,68	$60/9 = 6,67 = 7$	16	21,92
Conj. 18	1,500	40	0,20	2,0	8,00	$4,00 \rightarrow 4$	$40/4 = 10$	10	13,9	$40/9 = 4,44 = 5$	10	21,5
Conj. 19	0,900	80	0,09	1,0	7,20	$7,20 \rightarrow 8$	$80/4 = 20$	20	12,1	$80/9 = 8,89 = 9$	12	14,32
Conj. 20	0,700	120	0,05	1,0	6,00	$6,00 \rightarrow 6$	$120/4 = 30$	30	11,6	$120/9 = 13,33 = 14$	20	14,04
$\theta_{max} = 9$												
$\theta_{min} = 4$												

Tabela 2 – Descrição dos tempos de setup, processamento e movimentação por Conjunto da Estrutura de Produto apresentada nas Figuras 7 a 16. Fonte: Próprio Autor.

As Figuras de 7 a 16 apresentam, como exemplo, os gráficos de *Gantt* dos planos de execução dos Conjuntos PA e Conjuntos de 1 a 20.

Figura 7 – Plano de Execução do Conjunto PA e dos Conjuntos 1 a 4 considerando $\theta = 4$. Fonte: Próprios Autor.

Figura 8 – Plano de Execução do Conjunto PA e dos Conjuntos 5 a 8 considerando $\theta = 4$. Fonte: Próprios Autor.

Figura 9 – Plano de Execução do Conjunto PA e dos Conjuntos 9 a 12 considerando $\theta = 4$. Fonte: Próprios Autor.

Figura 10 – Plano de Execução do Conjunto PA e dos Conjuntos 13 a 16 considerando $\theta = 4$. Fonte: Próprios Autor.

Figura 11 – Plano de Execução do Conjunto PA e dos Conjuntos 17 a 20 considerando $\theta = 4$. Fonte: Próprios Autor.

Figura 12 – Plano de Execução do Conjunto PA e dos Conjuntos 1 a 4 considerando $\theta = 9$. Fonte: Próprios Autor.

Figura 13 – Plano de Execução do Conjunto PA e dos Conjuntos 5 a 8 considerando $\theta = 9$. Fonte: Próprios Autor.

Figura 14 – Plano de Execução do Conjunto PA e dos Conjuntos 9 a 12 considerando $\theta = 9$. Fonte: Próprios Autor.

Figura 15 – Plano de Execução do Conjunto PA e dos Conjuntos 13 a 16 considerando $\theta = 9$. Fonte: Próprios Autor.

Figura 16 – Plano de Execução do Conjunto PA e dos Conjuntos 17 a 20 considerando $\theta = 9$. Fonte: Próprios Autor.

4.4.5 LEAD TIME OFFSETTING (LTO)

A abordagem do *Lead Time Offsetting* (LTO), com ênfase no desenho do fluxo de produção, de modo a identificar a relação das variáveis da operação que impactam na programação da produção, adotada neste trabalho, parte do princípio de que os critérios e regras de programação da produção, assim como a definição dos parâmetros e variáveis a serem considerados em um modelo matemático de otimização, somente podem ser concebidos, uma vez que a relação direta da estrutura de materiais de engenharia (*Engineering Bill Of Materials* (EBOM)), com a estrutura de materiais de produção (*Manufacturing Bill Of Materials* (MBOM)) tenha sido estabelecida e inter-relacionada corretamente. Como princípio básico para a criação e fundamentação dos procedimentos de delineamento da estrutura de processos (*Bill Of Processes* (BOP)), de modo mais adequado, minimizando as perdas de tempo por espera, movimentação e *setup*.

Contudo, o maior entrave é manter o conjunto de dados dos processos de fabricação e das estruturas de produto e processo atualizados e revisados, de modo a formalizar cenários virtuais consistentes das condições extremas de operação no chão de fábrica, o que como consequência da frequência, e da extensão das alterações de projeto de produto e de fábrica, além das incertezas de demanda, deve impactar diretamente no resultado final do *Lead Time Offsetting* (LTO).

O grupo de estruturas, EBOM, MBOM e BOP, mais o gerenciamento dos recursos produtivos, ferramentas, máquinas, centros de trabalho, operadores humanos e robôs geram dados agrupados em produtos, processos e recursos da planta produtiva, que são criados e mantidos no repositório central de dados, não apenas como banco de dados de caráter histórico, mas como a principal fonte de informações a respeito da adequação da manufatura, quanto a ser capaz de atender os requisitos necessários de desempenho da fábrica em relação ao atendimento da demanda. (ROWE, 2006).

Neste caso, a possibilidade de consolidar modelos virtuais da operação de uma fábrica, com vínculo a estrutura de materiais e de processos de fabricação dos produtos e componentes manufaturados, contribui significativamente para a eliminação das perdas de tempo e para a construção de um fluxo de produção mais racional, a partir da programação da produção, uma vez que a determinação da função objetivo de caráter comum das organizações requer a minimização dos custos operacionais com a

maximização do uso dos recursos produtivos, de acordo com os princípios da gestão da qualidade e, conseqüentemente, a consolidação da confiança do mercado consumidor.

A Figura 17 apresenta, como exemplo de uma *Manufacturing Bill Of Materials* (MBOM), a MBOM de um produto acabado com 3 níveis.

Figura 17 – *Manufacturing Bill Of Materials* (MBOM). Fonte: Próprio Autor.

O fluxo de produção a ser definido para a operação requer a identificação, não somente, da relação de dependência entre os componentes da BOM, mas o momento no qual os componentes são utilizados na execução do processo de fabricação. Assim como do item pai no qual ele é aplicado. A Tabela 3 relaciona os componentes por nível da *Manufacturing Bill Of Materials* (MBOM) e as Tabelas 4 e 5 o processo de fabricação no qual o componente deve ser utilizado de acordo com a *Engineering Bill Of Materials* (EBOM)) baseada no delineamento da estrutura de processos (*Bill Of Processes* (BOP)).

Item	1º Nível	2º Nível	3º Nível
Produto Acabado (PA)	-----	-----	-----
Componente (C1.1)	C1.1	-----	-----
Componente (C1.2)	C1.2	-----	-----
Componente (C1.3)	C1.3	-----	-----
Componente (C1.4)	C1.4	-----	-----
Componente (C1.5)	C1.5	-----	-----
Componente (C1.6)	C1.6	-----	-----
Componente (C2.1)	-----	C2.1	-----
Componente (C2.2)	-----	C2.2	-----
Componente (C2.3)	-----	C2.3	-----
Componente (C2.4)	-----	C2.4	-----
Componente (C2.5)	-----	C2.5	-----
Componente (C2.6)	-----	C2.6	-----
Componente (C3.1)	-----	-----	C3.1

Tabela 3 – *Engineering Bill Of Materials* (EBOM)). Fonte: Próprio Autor.

De acordo com as Tabelas 4 e 5, o roteiro de fabricação de cada item consome os componentes filhos em operações que, não necessariamente, correspondem à primeira operação do roteiro, para o item específico. Por exemplo, a operação 30 da Tarefa $j+14$ do componente C3.1, definido na Tabela 5, somente é consumido no processo de fabricação do componente C2.6, na última operação deste item, a operação 40.

Item	Operação	Máquina	Sequência	Precedência	Tarefa	Grupo de Componentes	Item do Grupo	Nível BOM	Input (definição da Ramificação das operações)
PA	10	Step	-----	-----	j + 1 (10)	No nível (1): C do item C1.2 = 17,55 < 20,42 & o C do item C1.3 = 15,63 < 20,42		0	-----
PA	20	Step+1	-----	-----	j + 1 (20)				-----
PA	30	Step+2	-----	-----	j + 1 (30)				j + 3 (30) / j + 4 (30) j + 1 (20) / j + 5 (40) / j + 6 (40) / j + 7 (20)
C1.1	10	M _k	D2	PA	j + 2 (10)	6	6.2	1	j + 8 (20)
C1.1	20	M _{k+1}	D2 ⇒	PA	j + 2 (20)				
C1.2	10	M _{k+2}	E2 ⇒	PA	j + 3 (10)				j + 3 (30)
C1.2	20	M _{k+3}	E2 ⇒	PA	j + 3 (20)	5	5.2	1	
C1.2	30	M _{k+4}	E2 ⇒	PA	j + 3 (30)				
C1.3	10	M _{k+5}	F2 ⇒	PA	j + 4 (10)				
C1.3	20	M _{k+6}	F2 ⇒	PA	j + 4 (20)	4	4.2	1	j + 10 (30)
C1.3	30	M _{k+7}	F2 ⇒	PA	j + 4 (30)				
C1.4	10	M _{k+8}	C2	PA	j + 5 (10)				j + 5 (30)
C1.4	20	M _{k+9}	C2	PA	j + 5 (20)	3	3.2	1	
C1.4	30	M _{k+10}	C2 ⇒	PA	j + 5 (30)				
C1.5	10	M _{k+10}	B2	PA	j + 6 (10)				j + 12 (20)
C1.5	20	M _{k+11}	B2	PA	j + 6 (20)	2	2.2	1	
C1.5	30	M _{k+12}	B2	PA	j + 6 (30)				
C1.5	40	M _{k+13}	B2 ⇒	PA	j + 6 (40)				
C1.6	10	M _{k+14}	A3	PA	j + 7 (10)	1	1.3	1	j + 13 (40)
C1.6	20	M _{k+15}	A3 ⇒	PA	j + 7 (20)				

Tabela 4 – Estrutura de processos (Bill Of Processes (BOP – 1º nível)). Fonte: Próprio Autor.

Item	Operação	Máquina	Sequência	Precedência	Tarefa	Grupo	Item do Grupo	Nível BOM	Input (definição da Ramificação das operações)
PA	10	Step	-----	-----	j + 1 (10)	No nível (1): C do item C1.2 = 17,55 < 20,42 & o C do item C1.3 = 15,63 < 20,42		0	-----
PA	20	Step+1	-----	-----	j + 1 (20)				j + 3 (30) / j + 4 (30)
PA	30	Step+2	-----	-----	j + 1 (30)				j + 1 (20) / j + 5 (40) / j + 6 (40) / j + 7 (20)
C2.1	10	M _k	D1	C1.1	j + 8 (10)	6	6.1	2	-----
C2.1	20	M _{k+1}	D1 ⇒	C1.1	j + 8 (20)				-----
C2.2	10	M _k	E1	C1.2	j + 9 (10)	5	5.1	2	-----
C2.2	20	M _{k+1}	E1 ⇒	C1.2	j + 9 (20)				-----
C2.3	10	M _{k+2}	F1	C1.3	j + 10 (10)	4	4.1		-----
C2.3	20	M _{k+2}	F1	C1.3	j + 10 (20)				-----
C2.3	30	M _{k+2}	F1 ⇒	C1.3	j + 10 (30)				-----
C2.4	10	M _{k+4}	C1	C1.4	j + 11 (10)	3	3.1	2	-----
C2.4	20	M _{k+5}	C1	C1.4	j + 11 (20)				-----
C2.4	30	M _{k+6}	C1	C1.4	j + 11 (30)				-----
C2.4	40	M _{k+7}	C1 ⇒	C1.4	j + 11 (40)				-----
C2.5	10	M _{k+8}	B1	C1.5	j + 12 (10)	2	2.1	2	-----
C2.5	20	M _{k+9}	B1 ⇒	C1.5	j + 12 (20)				-----
C2.6	10	M _{k+10}	A2	C1.6	j + 13 (10)	1	1.2	2	-----
C2.6	20	M _{k+11}	A2	C1.6	j + 13 (20)				-----
C2.6	30	M _{k+12}	A2	C1.6	j + 13 (30)				-----
C2.6	40	M _{k+13}	A2 ⇒	C1.6	j + 13 (40)				j + 14 (30)
C3.1	10	M _{k+13}	A1	C2.6	j + 14 (10)	1	1.1	3	-----
C3.1	20	M _{k+14}	A1	C2.6	j + 14 (20)				-----
C3.1	30	M _{k+15}	A1 ⇒	C2.6	j + 14 (30)				-----

Tabela 5 – Estrutura de processos (Bill Of Processes (BOP – 2º nível)). Fonte: Próprio Autor.

As Tabelas 6 a 19 apresentam o *Routing for Part* (RFP) dos componentes.

<i>Part Number</i>		<i>Part Description</i>			
PA		Part (PA)			
<i>OPN. No.</i>	<i>Dept.</i>	<i>Work Ctr.</i>	<i>Operation Description</i>	<i>Setup</i>	<i>Run</i>
10	Assembly	Step	Assembly (PA)	1,33	1,40
20	Assembly	Step+1	Assembly (PA)	1,77	1,77
30	Assembly	Step+2	Assembly (PA)	1,66	1,66

Tabela 6 – *Routing for Part* (RFP). Fonte: Próprio Autor.

<i>Part Number</i>		<i>Part Description</i>			
C1.1		Part (C1.1)			
<i>OPN. No.</i>	<i>Dept.</i>	<i>Work Ctr.</i>	<i>Operation Description</i>	<i>Setup</i>	<i>Run</i>
10	Machining	M(k)	j + 2 (10)	1,90	1,97
20	Machining	M(k+1)	j + 2 (20)	1,87	1,97

Tabela 7 – *Routing for Part* (RFP) Part C.1.1. Fonte: Próprio Autor.

<i>Part Number</i>		<i>Part Description</i>			
C1.2		Part (C1.2)			
<i>OPN. No.</i>	<i>Dept.</i>	<i>Work Ctr.</i>	<i>Operation Description</i>	<i>Setup</i>	<i>Run</i>
10	Machining	M(k+2)	j + 3 (10)	1,87	1,97
20	Machining	M(k+3)	j + 3 (20)	1,87	1,97
30	Machining	M(k+4)	j + 3 (30)	1,87	1,97

Tabela 8 – *Routing for Part* (RFP) Part C.1.2. Fonte: Próprio Autor.

<i>Part Number</i>		<i>Part Description</i>			
C1.3		Part (C1.3)			
<i>OPN. No.</i>	<i>Dept.</i>	<i>Work Ctr.</i>	<i>Operation Description</i>	<i>Setup</i>	<i>Run</i>
10	Machining	M(k+5)	j + 4 (10)	1,60	1,70
20	Machining	M(k+6)	j + 4 (20)	1,87	1,97
30	Machining	M(k+7)	j + 4 (30)	1,35	1,56

Tabela 9 – *Routing for Part* (RFP) Part C.1.3. Fonte: Próprio Autor.

<i>Part Number</i>		<i>Part Description</i>			
C1.4		Part (C1.4)			
<i>OPN. No.</i>	<i>Dept.</i>	<i>Work Ctr.</i>	<i>Operation Description</i>	<i>Setup</i>	<i>Run</i>
10	<i>Machining</i>	M(k+8)	j + 5 (10)	1,87	1,97
20	<i>Machining</i>	M(k+9)	j + 5 (20)	1,87	1,51
30	<i>Machining</i>	M(k+10)	j + 5 (30)	1,87	1,35

Tabela 10 – Routing for Part (RFP) Part C.1.4. Fonte: Próprio Autor.

<i>Part Number</i>		<i>Part Description</i>			
C1.5		Part (C1.5)			
<i>OPN. No.</i>	<i>Dept.</i>	<i>Work Ctr.</i>	<i>Operation Description</i>	<i>Setup</i>	<i>Run</i>
10	<i>Machining</i>	M(k+10)	j + 6 (10)	1,61	1,72
20	<i>Machining</i>	M(k+11)	j + 6 (20)	1,87	1,97
30	<i>Machining</i>	M(k+12)	j + 6 (30)	1,61	1,71
40	<i>Machining</i>	M(k+13)	j + 6 (40)	1,61	1,61

Tabela 11 – Routing for Part (RFP) Part C.1.5. Fonte: Próprio Autor.

<i>Part Number</i>		<i>Part Description</i>			
C1.6		Part (C1.6)			
<i>OPN. No.</i>	<i>Dept.</i>	<i>Work Ctr.</i>	<i>Operation Description</i>	<i>Setup</i>	<i>Run</i>
10	<i>Machining</i>	M(k+14)	j + 7 (10)	1,61	1,71
20	<i>Machining</i>	M(k+15)	j + 7 (20)	1,87	2,61

Tabela 12 – Routing for Part (RFP) Part C.1.6. Fonte: Próprio Autor.

<i>Part Number</i>		<i>Part Description</i>			
C2.1		Part (C2.1)			
<i>OPN. No.</i>	<i>Dept.</i>	<i>Work Ctr.</i>	<i>Operation Description</i>	<i>Setup</i>	<i>Run</i>
10	<i>Machining</i>	M(k)	j + 8 (10)	1,04	1,97
20	<i>Machining</i>	M(k+1)	j + 8 (20)	1,87	1,97

Tabela 13 – Routing for Part (RFP) Part C.2.1. Fonte: Próprio Autor.

<i>Part Number</i>	<i>Part Description</i>
C2.2	Part (C2.2)

<i>OPN. No.</i>	<i>Dept.</i>	<i>Work Ctr.</i>	<i>Operation Description</i>	<i>Setup</i>	<i>Run</i>
10	Machining	M(k)	j + 9 (10)	1,04	1,04
20	Machining	M(k+1)	j + 9 (20)	1,25	1,25

Tabela 14 – Routing for Part (RFP) Part C.2.2. Fonte: Próprio Autor.

<i>Part Number</i>	<i>Part Description</i>
C2.3	Part (C2.3)

<i>OPN. No.</i>	<i>Dept.</i>	<i>Work Ctr.</i>	<i>Operation Description</i>	<i>Setup</i>	<i>Run</i>
10	Machining	M(k+2)	j + 10 (10)	1,41	1,51
20	Machining	M(k+3)	j + 10 (20)	1,41	2,61
30	Machining	M(k+4)	j + 10 (30)	1,45	1,50

Tabela 15 – Routing for Part (RFP) Part C.2.3. Fonte: Próprio Autor.

<i>Part Number</i>	<i>Part Description</i>
C2.4	Part (C2.4)

<i>OPN. No.</i>	<i>Dept.</i>	<i>Work Ctr.</i>	<i>Operation Description</i>	<i>Setup</i>	<i>Run</i>
10	Machining	M(k+4)	j + 11 (10)	1,50	1,40
20	Machining	M(k+5)	j + 11 (20)	1,50	1,40
30	Machining	M(k+6)	j + 11 (30)	1,35	1,45
40	Machining	M(k+7)	j + 11 (40)	1,35	1,35

Tabela 16 – Routing for Part (RFP) Part C.2.4. Fonte: Próprio Autor.

<i>Part Number</i>	<i>Part Description</i>
C2.5	Part (C2.5)

<i>OPN. No.</i>	<i>Dept.</i>	<i>Work Ctr.</i>	<i>Operation Description</i>	<i>Setup</i>	<i>Run</i>
10	Machining	M(k+8)	j + 12 (10)	1,51	1,51
20	Machining	M(k+9)	j + 12 (20)	1,45	1,45

Tabela 17 – Routing for Part (RFP) Part C.2.5. Fonte: Próprio Autor.

<i>Part Number</i>	<i>Part Description</i>
--------------------	-------------------------

C2.6		Part (C2.6)			
<i>OPN. No.</i>	<i>Dept.</i>	<i>Work Ctr.</i>	<i>Operation Description</i>	<i>Setup</i>	<i>Run</i>
10	<i>Machining</i>	M(k+10)	j + 13 (10)	1,71	1,71
20	<i>Machining</i>	M(k+11)	j + 13 (20)	1,91	1,61
30	<i>Machining</i>	M(k+12)	j + 13 (30)	1,87	1,97
40	<i>Machining</i>	M(k+13)	j + 13 (40)	1,87	1,56

Tabela 18 – Routing for Part (RFP) Part C.2.6. Fonte: Próprio Autor.

C3.1		Part (C3.1)			
<i>OPN. No.</i>	<i>Dept.</i>	<i>Work Ctr.</i>	<i>Operation Description</i>	<i>Setup</i>	<i>Run</i>
10	<i>Machining</i>	M(k+13)	j + 14 (10)	1,87	1,51
20	<i>Machining</i>	M(k+14)	j + 14 (20)	1,87	1,45
30	<i>Machining</i>	M(k+15)	j + 14 (30)	1,81	1,71

Tabela 19 – Routing for Part (RFP) Part C.3.1. Fonte: Próprio Autor.

De acordo com os dados apresentados, o exemplo é definido com base em 5 famílias de tarefas dos componentes, de modo que cada família está vinculada a um nível da BOM do produto acabado. A Tabela 20 identifica as famílias, sendo: as tarefas para produção dos componentes C1.1, C1.4, C1.5 e C1.6 utilizados no processo de montagem *step*+2 localizados na BOM no 1º nível, as tarefas para produção dos componentes C1.2 e C1.3 utilizados no processo de montagem *step*+1 localizados no 1º nível da BOM e utilizados na montagem do produto acabado antes dos itens C1.1, C1.4, C1.5 e C1.6. Os respectivos componentes filhos da 1ª família representados pela família 3 e localizados no 2º nível da BOM, os respectivos componentes filhos da 2ª família representados pela família 4, localizados no 2º nível da BOM e a 5ª família, representada pelo componente C3.1 como uma ramificação do componente C1.6, o qual é montado a partir de dois itens filhos C2.6 e C3.1, localizado no 3º e último nível da BOM.

Contudo, a execução das tarefas, com o objetivo de atender as requisições da montagem do produto acabado, requer o sincronismo da operação no chão de fábrica, de modo a garantir, a partir das disputas dos recursos produtivos por outros componentes, de outros produtos acabados, que não inflacione demasiadamente o *Lead Time Offsetting*.

↓	Componentes e respectivas tarefas agrupadas em famílias de tarefas												
	1º Nível						2º Nível						3º Nível
	1º Input (relação de precedência direta com o 3º Família de tarefas)				2º Input (relação de precedência direta com o 4º Família de tarefas)		Link com o 1º Input				Link com o 2º Input		Link com o 3º Família de tarefas
	1º Família de tarefas				2º Família de tarefas		3º Família de tarefas				4º Família de tarefas		5º Família de tarefas
Máq.	C1.1	C1.4	C1.5	C1.6	C1.2	C1.3	C2.1	C2.4	C2.5	C2.6	C2.2	C2.3	C3.1
K	X						X				X		
K+1	X						X				X		
K+2												X	
K+3					X							X	
K+4					X			X				X	
K+5						X		X					
K+6						X		X					
K+7						X		X					
K+8		X							X				
K+9		X							X				
K+10		X	X							X			
K+11			X							X			
K+12			X							X			
K+13			X							X			X
K+14				X									X
K+15				X									X

Tabela 20 – Fluxo do processo de fabricação a partir da BOM. Fonte: Próprio Autor.

Para o exemplo abordado, segundo as restrições tecnológicas do campo β são (Pinedo, 2008):

Restrição de precedência (prec): uma tarefa j qualquer necessita que uma ou mais tarefas sejam realizadas antes que ela possa ser iniciada;

Família de tarefas (fmls): existem F diferentes famílias de tarefas e cada uma delas possui n tarefas. Tarefas da mesma família podem possuir tempos de processamento diferentes entre si, porém, se realizadas uma após a outra não necessitam de parada para *setup*. Quando uma tarefa de outra família for ser realizada na máquina haverá necessidade de *setup*. Se o tempo de *setup* for dependente da sequência de fabricação, então é simbolizada por S_{ghk} , onde g é a família da tarefa que precede diretamente a tarefa da família h na máquina k . Se o tempo de *setup* depende apenas da família que vai começar a ser processada, então é simbolizada por S_{hk} .

Para o exemplo considerado, basicamente a operação no chão de fábrica contempla três atividades básicas: preparação da máquina (tempo de *setup*), tempo de processamento e tempo de movimentação, de acordo com as variáveis e parâmetros descritos. A Figura 18 representa a compilação dos dados da BOM e da BOP do exemplo.

- 1) R_{jk} – *release setup time* – data de início do processo de preparação da máquina k para o processamento da tarefa j ;
- 2) r_j – *release date time* – data de liberação – data antes da qual a tarefa não pode ser processada;
- 3) d_j – *due date* – data devida;
- 4) t_j – *Period of time* ($t = 1, \dots, T$) (*duration*).
- 5) P_{jk} – Tempo de processamento da tarefa j na máquina k .

$$P_{jk} = (t_{\text{proc}} \times q_{p(j,k)} \Big|_1^{q_{p(j,k)}}).$$
- 6) $\{C_j\}$ – a chave representa o maior valor de C_j ($C_{\max}$ é o *makespan*);
- 7) F_j = Tempo de permanência ou tempo de fluxo da tarefa;
- 8) C_j = Tempo total de processamento da tarefa em todas as máquinas;
- 9) C_{jk} – Data de término da tarefa j na máquina k ;
- 10) $j_1, j_2, \dots, j_n$ = Conjunto de tarefas que devem ser alocadas nas máquinas;
- 11) $i_1, i_2, \dots, i_n$ = Conjunto de tarefas precedentes ao conjunto de tarefas $j_1, j_2, \dots, j_n$ que devem ser alocadas nas máquinas;
- 12) $k_1, k_2, \dots, k_m$ = Conjunto de máquinas que realizarão as tarefas;
- 13) S_k – Tempo de *setup* da tarefa j na máquina k , sendo S_k o tempo de *setup* da tarefa na máquina k ;
- 14) S_{step} – Tempo de *setup* da tarefa j no recurso de montagem *step*, sendo S_{step} o tempo de *setup* do recurso de montagem;
- 15) S_{ijk} – Tempo de *setup* da tarefa j , precedida diretamente pela tarefa i , na máquina k , sendo S_{0jk} o tempo de *setup* da primeira tarefa da sequência (matriz de *setup*);
- 16) $S_{ij\text{step}}$ – Tempo de *setup* da tarefa j , precedida diretamente pela tarefa i , na etapa de montagem *step*, sendo $S_{0j\text{step}}$ o tempo de *setup* da primeira tarefa da sequência de montagem (matriz de *setup*);
- 17) $\Delta t_{j,(k \rightarrow k+1)}$ – Tempo de movimentação da tarefa j da máquina k para a máquina $k + 1$.

Figura 18 – Fluxo do processo de fabricação a partir da BOM. Fonte: Próprio Autor.

A Tabela 21 apresenta os valores do $\Delta t_{j,k \rightarrow k+1}$ para cada movimentação existente entre tarefas e entre as respectivas famílias das tarefas, relacionadas ao produto acabado em questão.

Item	Máquina	Operação	$\Delta t_{j,k \rightarrow k+1}$	
C2.2	k	$j+9$	$\Delta_{t(j+9,k)}$	1,25
C2.1	k	$j+8$	$\Delta_{t(j+8,k)}$	1,45
C1.1	k	$j+2$	$\Delta_{t(j+2,k)}$	1,87
C2.2	$k+1$	$j+9$	$\Delta_{t(j+9,k+1)}$	1,45
C2.1	$k+1$	$j+8$	$\Delta_{t(j+8,k+1)}$	1,87
C1.1	$k+1$	$j+2$	$\Delta_{t(j+2,k+1)}$	1,87
C2.3	$k+2$	$j+10$	$\Delta_{t(j+10,k+2)}$	1,65
C1.2	$k+2$	$j+3$	$\Delta_{t(j+3,k+2)}$	1,87
C2.3	$k+3$	$j+10$	$\Delta_{t(j+10,k+3)}$	1,61
C1.2	$k+3$	$j+3$	$\Delta_{t(j+3,k+3)}$	1,87
C2.4	$k+4$	$j+11$	$\Delta_{t(j+11,k+4)}$	1,80
C2.3	$k+4$	$j+10$	$\Delta_{t(j+10,k+4)}$	1,60
C1.2	$k+4$	$j+3$	$\Delta_{t(j+3,k+4)}$	1,87
C2.4	$k+5$	$j+11$	$\Delta_{t(j+11,k+5)}$	1,60
C1.3	$k+5$	$j+4$	$\Delta_{t(j+4,k+5)}$	1,87
C2.4	$k+6$	$j+11$	$\Delta_{t(j+11,k+6)}$	1,45
C1.3	$k+6$	$j+4$	$\Delta_{t(j+4,k+6)}$	1,87
C2.4	$k+7$	$j+11$	$\Delta_{t(j+11,k+7)}$	1,56
C1.3	$k+7$	$j+4$	$\Delta_{t(j+4,k+7)}$	1,50
C2.5	$k+8$	$j+12$	$\Delta_{t(j+12,k+8)}$	1,87
C1.4	$k+8$	$j+5$	$\Delta_{t(j+5,k+8)}$	1,87
C2.5	$k+9$	$j+12$	$\Delta_{t(j+12,k+9)}$	1,87
C1.4	$k+9$	$j+5$	$\Delta_{t(j+5,k+9)}$	1,45
C2.6	$k+10$	$j+13$	$\Delta_{t(j+13,k+10)}$	1,81
C1.5	$k+10$	$j+6$	$\Delta_{t(j+6,k+10)}$	1,81
C1.4	$k+10$	$j+5$	$\Delta_{t(j+5,k+10)}$	1,56
C2.6	$k+11$	$j+13$	$\Delta_{t(j+13,k+11)}$	1,81
C1.5	$k+11$	$j+6$	$\Delta_{t(j+6,k+11)}$	1,87
C2.6	$k+12$	$j+13$	$\Delta_{t(j+13,k+12)}$	1,87
C1.5	$k+12$	$j+6$	$\Delta_{t(j+6,k+12)}$	1,81
C3.1	$k+13$	$j+14$	$\Delta_{t(j+14,k+13)}$	1,95
C2.6	$k+13$	$j+13$	$\Delta_{t(j+13,k+13)}$	1,87
C1.5	$k+13$	$j+6$	$\Delta_{t(j+6,k+13)}$	2,01
C3.1	$k+14$	$j+14$	$\Delta_{t(j+14,k+14)}$	1,56
C1.6	$k+14$	$j+7$	$\Delta_{t(j+7,k+14)}$	1,71
C3.1	$k+15$	$j+14$	$\Delta_{t(j+14,k+15)}$	1,91
C1.6	$k+15$	$j+7$	$\Delta_{t(j+7,k+15)}$	2,01
PA	$step$	$j+1$	$\Delta_{t(j+1,step)}$	1,56
PA	$step+1$	$j+1$	$\Delta_{t(j+1,step+1)}$	1,77

Tabela 21 – Valores do $\Delta t_{j,k \rightarrow k+1}$ para cada movimentação. Fonte: Próprio Autor.

Para o cálculo do $\Delta t_{j,k \rightarrow k+1}$ é considerado um grupo de variáveis relacionadas ao processo de movimentação, de acordo com a descrição definida no próximo tópico.

Definição do $\Delta t_{j,k \rightarrow k+1}$. A transferência de componentes, subconjuntos e conjuntos de uma área de processo ou estação de trabalho, do momento da liberação até o início do processo seguinte, depende do número de fatores representados por unidades de tempo como variáveis que compõe o *gap* de tempo (Δt) da operação de movimentação.

Neste trabalho, considera-se como Δt o somatório de tempo a partir do momento da liberação do item da máquina predecessora até o início da operação na próxima máquina. Basicamente o Δt pode ser composto das seguintes variáveis de tempo:

- 1) $D_{rec\ orig} - D$ (**recurso origem**) – tempo de descarregamento ou a retirada do item do recurso de manufatura ou recurso fornecedor (**D_(RO)**);
- 2) $C_{carreg. p/ transp} - C$ (**carregamento equipamento de transporte**) – tempo de carregamento do item no equipamento de transporte (**C_(CET)**);
- 3) $T_{rec\ orig\ p/ rec\ dest} - t$ (**movimentação do recurso origem para o recurso destino**) – tempo de movimentação do local de origem para o local de destino (**t_(MRORD)**);
- 4) $D_{transp} - D$ (**recurso transporte**) – tempo de descarregamento do item do equipamento de transporte no local de destino (**D_(RT)**);
- 5) $t_{queue} - t$ (**tempo de fila**) – tempo de espera ou tempo de fila devido ao ritmo de chegada de diferentes componentes a serem processados no recurso destino, como resultado de diferentes rotas de chegada (**t_(TF)**);
- 6) $C_{transp\ p/ rec\ dest} - C$ (**transporte para recurso destino**) – tempo de carregamento e fixação do componente no recurso de manufatura no local de destino (**C_(TRD)**);
- 7) $t_{setup\ rec\ dest} - t$ (**setup recurso destino**) – tempo de *setup* do recurso de manufatura do local de destino. Caso não realizado durante a execução das atividades anteriores descritas (**t_(SRD)**).

Contudo, os componentes da variável tempo de ciclo de abastecimento relacionados podem ser alterados, tanto com a adição de novos componentes de tempo, quanto à exclusão dependendo das particularidades do processo de abastecimento entre

os processos com relação de precedência direta, no fluxo de produção, além da possibilidade de execução com sobreposição das atividades, ou execução em paralelo, quando a configuração do processo de fabricação dos itens permite.

A expressão matemática (3) representa a soma das variáveis, de modo a quantificar o *gap* que representa o tempo consumido no ciclo de abastecimento entre diferentes áreas de processamento, no chão de fábrica, com precedência direta, entre seus respectivos processos de fabricação.

(3)

$$\begin{aligned}\Delta_t (\text{ciclo de abast}) \\ = D_{rec\ orig} + C_{carreg.\ p/ transp} + t_{rec\ orig\ p/ rec\ dest} + D_{transp} + t_{queue} \\ + C_{transp\ p/ rec\ dest} + t_{setup\ rec\ dest}\end{aligned}$$

Por outro lado, as demais variáveis de tempo, fora o *setup*, somente serão relevantes no caso da configuração do *layout*, no chão de fábrica, implicar em distâncias significativas a serem percorridas entre o recurso de origem e o recurso destino, impactando no tempo de movimentação superior aos tempos de processamento do número de itens que compõe o lote de transferência, a partir do lote unitário.

Neste caso, tanto da máquina posicionada na origem quanto da máquina posicionada no destino, distâncias significativas implicam na determinação do tempo de transferência, com o objetivo de definir tamanhos de lotes compatíveis com as particularidades da operação, em cada estágio específico, as quais devem ser compatíveis com os demais processos, a fim de evitar estoque em processo elevado.

Neste caso, a aplicação do procedimento de cálculo do $\Delta_t (\text{ciclo de abast})$ é relevante para itens que requerem volume superior à unidade, e nos casos de itens que, devido a geometria ou tipo construtivo, peso e nível de customização do produto acabado, devem ser transferidos unitariamente, impactando em demasiado o tempo de movimentação e, conseqüentemente, o *Lead Time* de produção.

Além da movimentação entre os recursos, há que se considerar o volume consumido pelo recurso destino, no tempo quando comparado com o volume produzido

pelo recurso origem, devido à estrutura de materiais, podendo, quanto ao número de itens processados, devido a relação item pai e item filho, ser superior à uma unidade.

Cabe também considerar o dimensionamento do lote de transferência, assim como a frequência de transferência, no caso de itens repetitivos, de modo a identificar, através do procedimento, o impacto na redução, ou o comprometimento, do tempo de ciclo de movimentação conjuntamente ao tempo de *setup*, na capacidade de processamento dos recursos de manufatura. Devido à falta de sincronismo, a variabilidade do Δt pode ser elevada.

A Figura 19 define o fluxo do procedimento de cálculo do *gap* de tempo do ciclo de abastecimento, com o propósito de ajustar o *lead time* de produção.

A possibilidade de reconfiguração de sistemas distribuídos requer uma maior precisão dos modelos de programação da produção, com a incorporação, às diferentes abordagens matemáticas de problemas específicos de sequenciamento das operações no chão de fábrica, de modo que, o tempo consumido no ciclo de abastecimento, ou de transferência de itens entre processos de fabricação com precedência direta, de acordo com os respectivos roteiros, requer, uma vez que a operação do processamento nos recursos de manufatura, com precedência direta é conhecida e devidamente controlada, o mesmo cuidado com a circulação destes itens no decorrer do fluxo de produção.

O objetivo, do procedimento proposto, é o de ajustar o tempo de fluxo de produção, entre processos com relação de precedência direta, devido ao impacto do ciclo de abastecimento no *lead time offsetting* de produção, nos casos já especificados.

Figura 19 – Proposta de procedimento de verificação do impacto do tempo do ciclo de abastecimento na operação. Fonte: Próprio autor.

Para a demonstração do efeito do ciclo de abastecimento na sincronização entre processos, com relação de precedência direta, há métodos de construção de fluxos de precedência que podem ser aplicados, por exemplo:

1) Ambientes *Flow Shop*

a) Diagramas de Precedência (diagrama de fluxo, diagrama de fluxo vertical);

b) Métodos relacionados ao *Assembly Line Balancing Problem* (ALBP):

- Problemas para um único modelo com tempos das tarefas determinísticos *Single-Model Deterministic* (SMD);
- Problemas para um modelo único com tempos de tarefas estocásticos *Single-Model Stochastic* (SMS);
- Problemas para múltiplos modelos com tempos das tarefas determinísticos *Multi-Model Deterministic* (MMD);
- Problemas para múltiplos modelos e tempos das tarefas estocásticos *Multi-Model Stochastic* (MMS);

c) *Simple Assembly Line Balancing Problem* (SALBP). Problema de otimização combinatorial do tipo *NP-hard* (GUTJAHR; NEMHAUSER, 1964);

- Método heurístico de Hegelson e Birnie (1961);
- Método heurístico de Kilbridge e Webster (1961).

d) *Generalized Assembly Line Balancing Problem* (GALBP);

e) Tecnologia de grupo;

f) Redes Petri.

2) Ambientes *Job Shop*

a) Carta Multi-processo;

b) Diagrama de relacionamento.

As Figuras de 20 a 30 representam a ocupação dos recursos utilizados.

Figura 20 – Ocupação dos Recursos Utilizados. Fonte: próprio autor.

Figura 21 – Ocupação dos Recursos Utilizados. Fonte: próprio autor.

Figura 22 – Ocupação dos Recursos Utilizados. Fonte: próprio autor.

Figura 23 – Ocupação dos Recursos Utilizados. Fonte: próprio autor.

Figura 24 – Ocupação dos Recursos Utilizados. Fonte: próprio autor.

Figura 25 – Ocupação dos Recursos Utilizados. Fonte: próprio autor.

Figura 26 – Ocupação dos Recursos Utilizados. Fonte: próprio autor.

Figura 27 – Ocupação dos Recursos Utilizados. Fonte: próprio autor.

Figura 28 – Ocupação dos Recursos Utilizados. Fonte: próprio autor.

Figura 29 – Ocupação dos Recursos Utilizados. Fonte: próprio autor.

Figura 30 – Ocupação dos Recursos Utilizados. Fonte: próprio autor.

Neste caso, inicialmente, podemos considerar como resultado da interação das estruturas, dois fatores que impactam diretamente no resultado do *Lead Time Offsetting* (LTO):

- 1) O tamanho do lote de produção e montagem (*Lot Size* (LS)), representado por:

$$q_{p(j)} \Big|_1^{q_{p(j)}} \text{ e } t_{ass(jstep)} \times q_{a(j)} \Big|_1^{q_{a(j)}}$$

* partindo do tamanho unitário, para itens de grande dimensão e processos de fabricação complexos, até itens de pequena dimensão e alto volume, podendo apresentar processos de fabricação complexos ou não.

- 2) E a complexidade do produto acabado, quanto à extensão da estrutura de materiais de engenharia (*Engineering Bill Of Materials* (EBOM)), estrutura de materiais de produção (*Manufacturing Bill Of Materials* (MBOM)) e estrutura de processos de fabricação (*Bill Of Processes* (BOP)), representada neste trabalho como dimensão do produto, fortemente impactada pelo número de níveis das estruturas e, consequentemente, número de componentes e processos de fabricação relacionados.

O *Lead Time Offsetting* (LTO), neste trabalho, é calculado a partir da expressão matemática (4).

(4)

$$\begin{aligned}
 LT_{Pr} &= \sum_{i=1}^{vfp} LT_i \\
 &= \sum_{i=1}^{vfp} \left(\sum_{j=1}^n \left(\Delta t_j \right. \right. \\
 &\quad + \sum_{k=1}^{nt} \left(\Delta t_{p(j,k)} + S_{setup(p)(jk)} + \frac{(t_{proc(jk)} \times q_{p(j)} \Big|_1^{q_{p(j)}})}{oeep(jk) + \%setup_{p(jk)}} \right) \\
 &\quad \left. \left. + \sum_{l=1}^{step} \left(\Delta t_{a(l)} + S_{setup(a)(jstep)} + \frac{(t_{ass(jstep)} \times q_{a(j)} \Big|_1^{q_{a(j)}})}{oeea(jstep) + \%setup_{a(jstep)}} \right) \right) \right)
 \end{aligned}$$

A notação matemática dos parâmetros e variáveis relacionados para o cálculo do LT_{Pr} (*Lead Time Offsetting*) definido através da expressão (4), é:

- 1) LT_j – *greater lead time between the processed components = lead time of finished product.*

- 2) LT_{Pr} – *production lead time for “p” manufactured goods.*
- 3) vfp – número de variações do produto acabado ($y = 1 \rightarrow vfp$).
- 4) n – número de componentes $\approx$ número de tarefas ($j = 1 \rightarrow n$).
- 5) m – número de recursos produtivos.
- 6) nt – número de operações por componente ($z = 1 \rightarrow nt$).
- 7) $steps$ – *number of assembly steps for the product component* ($l = 1 \rightarrow steps$).
- 8) q_{pj} – quantidade de componentes processados por tarefa.
- 9) q_{aj} – quantidade de componentes montados por tarefa.
- 10) C_j – *total time processing task on all machines.*
- 11) r_j – *release date time – date before which the task can not be processed.*
- 12) $t_{rel(jk)}$ – *time release of the production order to the factory.*
- 13) $t_{sep(jk)}$ – *time separation of raw materials to the factory.*
- 14) $t_{transp(jk)}$ – *transport time from one machine to the other.*
- 15) $t_{queue(jk)}$ – *queuing time in the manufacturing resource.*
- 16) $S_{setup(jk)}$ – tempo de *setup* do recurso produtivo.
- 17) $S_{setup(jstep)}$ – *setup time in the assembly resource.*
- 18) $t_{proc(jk)}$ – tempo de processamento do recurso produtivo.
- 19) $t_{ass(jk)}$ – tempo de montagem
- 20) $t_{\omega_{max}(jk)}$ – tempo de processamento de $stock_{max}$.
- 21) $\Delta t_{jk} = t_{rel} + t_{sep}$.
- 22) $\Delta t_{p(jk)} = t_{transp(p)} + t_{queue(p)}$.
- 23) $\Delta t_{a(jstep)} = t_{transp(a)} + t_{queue(a)}$.
- 24) $oeep =$ *overall equipment effectiveness of process.*
- 25) $oeea =$ *overall equipment effectiveness of assembly.*
- 26) $\%setup_p =$ *loss index OEE_p by setup (Process).*
- 27) $\%setup_a =$ *loss index OEE_a by setup (Assembly).*
- 28) $\theta =$ *Adjustment parameter for the supplying the release rate.*
- 29) $t_{Q_2(jk)}$ – *processing time of quantity '2'.*
- 30) $t_{Q_x(jk)}$ – *processing time of quantity 'x'.*
- 31) $q_{2(jk)}$ – *quantity of items processed (quantity '2') in the machine k + 1 from the start of operation on the machine k.*

- 32) $q_{x(jk)}$ – quantity of items processed (quantity 'x') in the machine $k + 1$ from the start of operation on the machine k .
- 33) $q_{2(\omega_{\max})(jk)}$ – maximum quantity to be processed between the processes.
- 34) $\Delta_{t(\omega_{\max})(jk)}$ – maximum time between the setup time and the movement time.
- 35) t_{jk} – period of time ($t = 1, \dots, T$) (duration).

O cálculo do tempo de processamento por item e processo de fabricação, é definido a partir das expressões (5) a (8), incluindo o tempo de montagem.

(5)

$$P_{jk} = \frac{(t_{proc(jk)} \times q_{p(j)} |_1^{q_{p(j)}})}{oeep_{p(jk)} + \%setup_{p(jk)}}, \text{ considerando:}$$

(6)

$$P_{jk(x)} = \frac{(t_{proc(jk)} \times q_{(x)p(j)} |_1^{q_{(x)p(j)}})}{oeep_{p(jk)} + \%setup_{p(jk)}} \Rightarrow \text{Quantidade com overlapping.}$$

(*Overlapping_{with}*).

(7)

$$P_{jk(2)} = \frac{(t_{proc(jk)} \times q_{(x)p(j)} |_1^{q_{(2)p(j)}})}{oeep_{p(jk)} + \%setup_{p(jk)}} \Rightarrow \text{Quantidade sem overlapping.}$$

(8)

$$P_{jk(\omega(max))} = \frac{(t_{proc(jk)} \times q_{(\omega(max))p(j)} |_1^{q_{(\omega(max))p(j)}})}{oeep_{p(jk)} + \%setup_{p(jk)}} \Rightarrow \text{Quantidade do buffer.}$$

Como condição para a determinação do tamanho do lote de produção e montagem (*Lot Size (LS)*), é considerado, de acordo com a expressão (5):

$$P_{(jk)lot\ size} = \frac{\frac{(t_{proc(jk)} \times q_{p(j)} |_1^{q_{p(j)}})}{oeep_{p(jk)} + \%setup_{p(jk)}}}{\theta} \geq \max\{t_{setup(jk)}, \Delta_{t(j,k \rightarrow k+1)}\}$$

Este trabalho considera duas possibilidades de antecipar o início do processamento, a ser realizado no processo (2), com precedência direta dependente do processo (1), no caso da expressão matemática (4) representar o tempo consumido durante

o processo de transferência de componentes do posto de trabalho (1), como fornecedor para o posto de trabalho (2) e como consumidor, quando a condição definida pela relação descrita na equação (9), ou pela relação descrita na equação (10).

(9)

$$\left(\Delta t_1 + t_{setup(1)} + \frac{(t_{proc} \times q_{1(j=1)})|_1^{q_{1(j=1)}}}{OEE_1 + \%Setup_1} + \Delta t_2 \right) > \left(t_{setup(2)} + \frac{(t_{proc} \times q_{2(j=1)})|_1^{q_{2(j=1)}}}{OEE_2 + \%Setup_2} \right)$$

(10)

$$\left(\Delta t_1 + t_{setup(1)} + \frac{(t_{proc} \times q_{1(j=1)})|_1^{q_{1(j=1)}}}{OEE_1 + \%Setup_1} + \Delta t_2 \right) \leq \left(t_{setup(2)} + \frac{(t_{proc} \times q_{2(j=1)})|_1^{q_{2(j=1)}}}{OEE_2 + \%Setup_2} \right)$$

No caso da expressão (9), é necessário determinar o início do processo consumidor, de modo a manter o sincronismo do fluxo, ou seja, no momento que o processo consumidor for iniciado, não haverá falta de material fornecido, devido à taxa de fornecimento ser menor que a taxa de consumo, ou seja, o *buffer* é necessário para que não ocorra interrupções.

No caso da expressão (10), é necessário apenas a definição do início do processo consumidor, a partir da produção de um número de itens, em que o tempo de processamento final destes itens seja maior ou igual ao tempo de transferência entre os processos de fabricação, para que não ocorra interrupções no fluxo.

Contudo, apenas o tempo de *setup* pode ser realizado com *overlapping*, no caso em que o recurso destino, ao ser liberado, resulta que a somatória das demais variáveis de tempo incidentes após a respectiva liberação, deve ser maior, ou igual, ao tempo de *setup*.

As Figuras 31 e 32 têm como objetivo demonstrar o impacto da dimensão do produto, em conjunto com o tamanho do lote, no resultado do *Lead Time Offsetting* (LTO).

Figura 31 – Impacto da dimensão do produto em conjunto com o tamanho do lote no resultado do *Lead Time Offsetting* (LTO).

Figura 32 – Impacto da dimensão do produto em conjunto com o tamanho do lote no resultado do *Lead Time Offsetting* (LTO).

A Figura 33 ilustra a importância do dimensionamento do lote de produção, de diferentes sistemas produtivos, mesmo os sistemas que operam com lote único, na determinação do *lead time offset*, em relação ao tempo de processamento.

A partir da relação de interdependência das variáveis, é possível através das propriedades matemáticas descritas, delinear o modelo de otimização do fluxo de produção.

Figura 33 – Impacto do tamanho do lote e da dimensão do produto no *Lead Time Offsetting* (LTO). Fonte: Adaptado de AZZOLINI (2004).

4.4.6 PROPRIEDADES GERAIS

A partir do desenho do fluxo, e do estudo detalhado das relações de precedência entre os processos, o procedimento proposto sugere o cálculo do ciclo de abastecimento a partir das expressões matemáticas (11) a (15), considerando:

$q_k = \text{Volume total da máquina } k$;

$q_{k+1} = \text{Volume total da máquina } k+1$.

$t_{\text{início do fornecedor}} = \Delta t_k$

$RelVol = \text{Relação da taxa de consumo e de fornecimento do volume de componentes a serem movimentados entre cliente e fornecedor.}$

(11)

$$RelVol = \frac{t_{setup(k+1)} + \frac{(t_{proc} \times q_{(k+1)(j=1)})|_1^{q_{(k+1)(j=1)}}}{OEE_{(k+1)} + \%Setup_{(k+1)}}}{t_{setup(k)} + \frac{(t_{proc} \times q_{1(j=1)})|_1^{q_{1(j=1)}}}{OEE_k + \%Setup_k}}$$

(12)

$$t_{total(k)} = t_{início(k)} + t_{setup(k)} + \frac{(t_{proc} \times q_{k(j)})|_1^{q_{k(j)}}}{OEE_k + \%Setup_k}$$

(13)

$$t_{início(k+1)} = (t_{total(k)})$$

$$\begin{aligned} & - \left(\left(t_{setup(k+1)} + \frac{(t_{proc} \times q_{(k+1)(j=1)})|_1^{q_{(k+1)(j=1)}}}{OEE_{(k+1)} + \%Setup_{(k+1)}} \right) \right. \\ & \times \left(\left(\frac{(t_{(k+1)})}{(OEE_{(k+1)} + \%Setup_{(k+1)})} \right) \right. \\ & \left. \left. / \left(\left(\frac{(t_{(k)})}{(OEE_{(k)} + \%Setup_{(k)})} \right) \times RelVol \right) \right) \right) + \Delta t_{(k+1 \rightarrow k+2)} \end{aligned}$$

(14)

$$t_{final(k+1)} = t_{inicio(k+1)} + \left(t_{setup(k+1)} + \frac{(t_{proc} \times q_{(k+1)(j=1)})_1^{q_{(k+1)(j=1)}}}{OEE_{(k+1)} + \%Setup_{(k+1)}} \right)$$

(15)

$$q_x = \frac{(t_{inicio(k+1)} - \Delta t_{(k \rightarrow k+1)})}{\left(\frac{t_1}{OEE_{(k)} + \%Setup_{(k)}} \right)}$$

➤ q_x = Volume necessário (Estoque Fornecedor) para iniciar o processo cliente.

Como exemplo, podemos fazer uso de um sistema de fabricação de quatro componentes, os quais passam por cinco processos de fabricação unidos e distintos, e são, posteriormente, unidos por meio de um processo de montagem.

A Figura 34 mostra os dados da Estrutura de Materiais (*Bill of Materials* (BOM)), com a identificação do estoque, demanda e quantidade requisitada.

BA001 Barra A			MC001 Cortado A			DB001 Dobrado A			SD001 Soldado A			MO001 Conjunto A			PD001 Produto A		
0	Estoque	Quant.	1	Estoque	Quant.	2	Estoque	Quant.	3	Estoque	Quant.	4	Estoque	Quant.	5	Estoque	Quant.
BA001	30	12	MC001	10	16	DB001	8	24	SD001	4	16	MO001	2	10	PD001	5	10
Dem.	12 < 30 = 0		Dem.	16 - 10 = 6		Dem.	24 - 8 = 16		Dem.	16 - 4 = 12		Dem.	10 - 2 = 8		Dem.	10 - 5 = 5	

BA002 Barra B			MC002 Cortado B			DB002 Dobrado B			SD002 Soldado B			MO002 Conjunto B			PD002 Produto B		
0	Estoque	Quant.	1	Estoque	Quant.	2	Estoque	Quant.	3	Estoque	Quant.	4	Estoque	Quant.	5	Estoque	Quant.
BA002	30	12	MC002	10	16	DB002	8	24	SD002	4	16	MO002	2	10	PD002	5	10
Dem.	12 < 30 = 0		Dem.	16 - 10 = 6		Dem.	24 - 8 = 16		Dem.	16 - 4 = 12		Dem.	10 - 2 = 8		Dem.	10 - 5 = 5	

BA003 Barra C			MC003 Cortado C			DB003 Dobrado C			SD003 Soldado C			MO003 Conjunto C			PD003 Produto C		
0	Estoque	Quant.	1	Estoque	Quant.	2	Estoque	Quant.	3	Estoque	Quant.	4	Estoque	Quant.	5	Estoque	Quant.
BA003	30	12	MC003	10	16	DB003	8	24	SD003	4	16	MO003	2	10	PD003	5	10
Dem.	12 < 30 = 0		Dem.	16 - 10 = 6		Dem.	24 - 8 = 16		Dem.	16 - 4 = 12		Dem.	10 - 2 = 8		Dem.	10 - 5 = 5	

BA004 Barra D			MC004 Cortado D			DB004 Dobrado D			SD004 Soldado D			MO004 Conjunto D			PD004 Produto D		
0	Estoque	Quant.	1	Estoque	Quant.	2	Estoque	Quant.	3	Estoque	Quant.	4	Estoque	Quant.	5	Estoque	Quant.
BA004	30	12	MC004	10	16	DB004	8	24	SD004	4	16	MO004	2	10	PD004	5	10
Dem.	12 < 30 = 0		Dem.	16 - 10 = 6		Dem.	24 - 8 = 16		Dem.	16 - 4 = 12		Dem.	10 - 2 = 8		Dem.	10 - 5 = 5	

Figura 34 – Dados da estrutura de materiais dos componentes e respectivo fluxo do processamento.

Fonte: Próprio Autor.

A Figura 35 mostra os dados da estrutura de materiais, com o percentual de refugo dos processos de fabricação e as Figuras 36 e 37, as respectivas necessidades, incluindo a reposição do refugo.

Segundo Nahmias (2009), é muito difícil incorporar a variabilidade do *lead time* no cálculo de políticas de otimização de inventário. O principal problema é que se assume que sucessivos *lead times* são variáveis aleatórias independentes, então é possível que os *lead times*, ao se cruzarem, devido a diferentes ordens de produção sendo processadas, não devem, necessariamente, serem recebidas na mesma sequência que elas foram alocadas em uma operação.

BA001 Barra A			MC001 Cortado A			DB001 Dobrado A			SD001 Soldado A			MO001 Conjunto A			PD001 Produto A		
0	t. proc.	t. set.	1	t. proc.	t. set.	2	t. proc.	t. set.	3	t. proc.	t. set.	4	t. proc.	t. set.	5	t. proc.	t. set.
BA001	-----	-----	MC001	5	10	DB001	5	10	SD001	4	30	MO001	15	20	PD001	40	20
% Ref.	-----	-----	% Ref.	10%		% Ref.	5%		% Ref.	2%		% Ref.	0%		% Ref.	0%	
Lead time de suprimentos																	
BA002 Barra B			MC002 Cortado B			DB002 Dobrado B			SD002 Soldado B			MO002 Conjunto B			PD002 Produto B		
0	t. proc.	t. set.	1	t. proc.	t. set.	2	t. proc.	t. set.	3	t. proc.	t. set.	4	t. proc.	t. set.	5	t. proc.	t. set.
BA002	-----	-----	MC002	6	10	DB002	6	10	SD002	6	30	MO002	13	20	PD002	35	20
% Ref.	-----	-----	% Ref.	10%		% Ref.	5%		% Ref.	2%		% Ref.	0%		% Ref.	0%	
Lead time de suprimentos																	
BA003 Barra C			MC003 Cortado C			DB003 Dobrado C			SD003 Soldado C			MO003 Conjunto C			PD003 Produto C		
0	t. proc.	t. set.	1	t. proc.	t. set.	2	t. proc.	t. set.	3	t. proc.	t. set.	4	t. proc.	t. set.	5	t. proc.	t. set.
BA003	-----	-----	MC003	7	20	DB003	4	20	SD003	8	20	MO003	15	20	PD003	70	20
% Ref.	-----	-----	% Ref.	10%		% Ref.	5%		% Ref.	2%		% Ref.	0%		% Ref.	0%	
Lead time de suprimentos																	
BA004 Barra D			MC004 Cortado D			DB004 Dobrado D			SD004 Soldado D			MO004 Conjunto D			PD004 Produto D		
0	t. proc.	t. set.	1	t. proc.	t. set.	2	t. proc.	t. set.	3	t. proc.	t. set.	4	t. proc.	t. set.	5	t. proc.	t. set.
BA004	-----	-----	MC004	8	20	DB004	7	20	SD004	5	20	MO004	12	20	PD004	70	20
% Ref.	-----	-----	% Ref.	10%		% Ref.	5%		% Ref.	2%		% Ref.	0%		% Ref.	0%	

Figura 35 – Fluxo de materiais com os respectivos indicadores de refugo por processo. Fonte: Próprio Autor.

BA001 Barra A			MC001 Cortado A			DB001 Dobrado A			SD001 Soldado A			MO001 Conjunto A			PD001 Produto A		
0	Estoque	Quant.	1	Estoque	Quant.	2	Estoque	Quant.	3	Estoque	Quant.	4	Estoque	Quant.	5	Estoque	Quant.
BA001	30	20	MC001	10	19	DB001	8	26	SD001	4	16	MO001	2	10	PD001	5	10
Dem.	20 < 30 = 0		D + R	9 x 1,1 = 10		D + R	18 x 1,05 = 19		D + R	12 x 1,02 = 13		Dem.	10 - 2 = 8		Dem.	10 - 5 = 5	

BA002 Barra B			MC002 Cortado B			DB002 Dobrado B			SD002 Soldado B			MO002 Conjunto B			PD002 Produto B		
0	Estoque	Quant.	1	Estoque	Quant.	2	Estoque	Quant.	3	Estoque	Quant.	4	Estoque	Quant.	5	Estoque	Quant.
BA002	30	20	MC002	10	19	DB002	8	26	SD002	4	16	MO002	2	10	PD002	5	10
Dem.	20 < 30 = 0		D + R	9 x 1,1 = 10		D + R	18 x 1,05 = 19		D + R	12 x 1,02 = 13		Dem.	10 - 2 = 8		Dem.	10 - 5 = 5	

BA003 Barra C			MC003 Cortado C			DB003 Dobrado C			SD003 Soldado C			MO003 Conjunto C			PD003 Produto C		
0	Estoque	Quant.	1	Estoque	Quant.	2	Estoque	Quant.	3	Estoque	Quant.	4	Estoque	Quant.	5	Estoque	Quant.
BA003	30	20	MC003	10	19	DB003	8	26	SD003	4	16	MO003	2	10	PD003	5	10
Dem.	20 < 30 = 0		D + R	9 x 1,1 = 10		D + R	18 x 1,05 = 19		D + R	12 x 1,02 = 13		Dem.	10 - 2 = 8		Dem.	10 - 5 = 5	

BA004 Barra D			MC004 Cortado D			DB004 Dobrado D			SD004 Soldado D			MO004 Conjunto D			PD004 Produto D		
0	Estoque	Quant.	1	Estoque	Quant.	2	Estoque	Quant.	3	Estoque	Quant.	4	Estoque	Quant.	5	Estoque	Quant.
BA004	30	20	MC004	10	19	DB004	8	26	SD004	4	16	MO004	2	10	PD004	5	10
Dem.	20 < 30 = 0		D + R	9 x 1,1 = 10		D + R	18 x 1,05 = 19		D + R	12 x 1,02 = 13		Dem.	10 - 2 = 8		Dem.	10 - 5 = 5	

Figura 36 – Fluxo de materiais com o cálculo da demanda considerando o refugo por processo. Fonte:

Próprio Autor.

Tempo Disponível: Dia (24) – 24 horas Dias úteis por Semana TMS – tempo médio de setup em min %PORES – % Perda do CEE por Setup t.transf – do processo para o processo seguinte			Grupo: Marcação e Corte			Grupo: Dobra			Grupo: Solda			Grupo: Montagem			Grupo: Acabamento		
			Proc. #	1	2	Proc. #	1	2	Proc. #	1	2	Proc. #	1	2	Proc. #	1	2
			CEE	80%	70%	CEE	70%	85%	CEE	40%	35%	CEE	85%	—	CEE	85%	—
			TMS	15	20	TMS	40	20	TMS	20	20	TMS	20	—	TMS	10	—
			%PORES	15%	10%	%PORES	15%	1%	%PORES	30%	20%	%PORES	10%	—	%PORES	20%	—
			t.transf	10	20	t.transf	10	20	t.transf	30	20	t.transf	20	—	t.transf	20	—

BA001 Barra A			MC001 Cortado A			DB001 Dobrado A			SD001 Soldado A			MO001 Conjunto A			PD001 Produto A		
0	t. proc.	t. set.	1	t. proc.	t. set.	2	t. proc.	t. set.	3	t. proc.	t. set.	4	t. proc.	t. set.	5	t. proc.	t. set.
BA001	—	—	MC001	5	10	DB001	5	10	SD001	4	30	MO001	15	20	PD001	40	20
% Ref.	—	—	% Ref.	10%	—	% Ref.	5%	—	% Ref.	2%	—	% Ref.	0%	—	% Ref.	0%	—

BA002 Barra B			MC002 Cortado B			DB002 Dobrado B			SD002 Soldado B			MO002 Conjunto B			PD002 Produto B		
0	t. proc.	t. set.	1	t. proc.	t. set.	2	t. proc.	t. set.	3	t. proc.	t. set.	4	t. proc.	t. set.	5	t. proc.	t. set.
BA002	—	—	MC002	6	10	DB002	6	10	SD002	6	30	MO002	13	20	PD002	35	20
% Ref.	—	—	% Ref.	10%	—	% Ref.	5%	—	% Ref.	2%	—	% Ref.	0%	—	% Ref.	0%	—

BA003 Barra C			MC003 Cortado C			DB003 Dobrado C			SD003 Soldado C			MO003 Conjunto C			PD003 Produto C		
0	t. proc.	t. set.	1	t. proc.	t. set.	2	t. proc.	t. set.	3	t. proc.	t. set.	4	t. proc.	t. set.	5	t. proc.	t. set.
BA003	—	—	MC003	7	20	DB003	4	20	SD003	8	20	MO003	15	20	PD003	70	20
% Ref.	—	—	% Ref.	10%	—	% Ref.	5%	—	% Ref.	2%	—	% Ref.	0%	—	% Ref.	0%	—

BA004 Barra D			MC004 Cortado D			DB004 Dobrado D			SD004 Soldado D			MO004 Conjunto D			PD004 Produto D		
0	t. proc.	t. set.	1	t. proc.	t. set.	2	t. proc.	t. set.	3	t. proc.	t. set.	4	t. proc.	t. set.	5	t. proc.	t. set.
BA004	—	—	MC004	8	20	DB004	7	20	SD004	5	20	MO004	12	20	PD004	70	20
% Ref.	—	—	% Ref.	10%	—	% Ref.	5%	—	% Ref.	2%	—	% Ref.	0%	—	% Ref.	0%	—

Figura 37 – Dados da Estrutura de Materiais e do processo de fabricação. Fonte: Próprio Autor.

Como exemplo de cálculo, é considerado inicialmente o componente C, a partir dos processos de corte, marcação e dobra, uma vez que não há a necessidade do abastecimento de barras devido ao estoque disponível (*Lead Time* de suprimentos igual a zero).

4.4.7 PROPRIEDADE A

Considerando uma sequência de tarefas j , tem-se:

$$C_{j+1,k+1} = \max(R_{j+1,k+1} + S_{j,j+1,k+1} + P_{(\omega_{\max})j+1,k+1} + P_{(x)j+1,k+1} + P_{(2)j+1,k+1}, C_{j+1,k} + S_{j,j+1,k+1} + P_{(\omega_{\max})j+1,k+1} + P_{(2)j+1,k+1}) \quad (16)$$

para $k = 1, 2, \dots, m - 1$

A propriedade é demonstrada nas Figuras 38 e 39.

Figura 38 – Representação da Propriedade A. Fonte: Próprio autor.

Figura 39 – Representação do Balanceamento do tempo. Fonte: Próprio autor.

4.4.8 PROPRIEDADE B

B.1 Se $\theta = 1$ então $overlapping_{with} = S_{j,j+1,k+1} + P_{(\omega_{\max})j+1,k+1}$

B.2 Se $\theta > 1$ então $overlapping_{with} = S_{j,j+1,k+1} + P_{(\omega_{\max})j+1,k+1} + P_{(x)j+1,k+1}$

B.3 Se $C_{j+1,k} - R_{j+1,k+1} = S_{j,j+1,k+1}$ então $overlapping_{with} = S_{j,j+1,k+1}$;

e $overlapping_{without} = P_{(\omega_{\max})j+1,k+1} + P_{(2)j+1,k+1}$

B.4 Se $C_{j+1,k} = R_{j+1,k+1}$ então $overlapping_{with} = 0$;

e $overlapping_{without} = S_{j,j+1,k+1} + P_{(\omega_{\max})j+1,k+1} + P_{(2)j+1,k+1}$

Ou seja,

Se $\theta = 1$, $P_{(x)j+1,k+1} = 0$ ($k = 1, 2, \dots, m-1$).

Se $P_{(\omega_{\max})j+1,k+1} = 0$, $overlapping_{with} \leq S_{j,j+1,k+1}$ ($k = 1, 2, \dots, m-1$).

A verificação da propriedade B decorre diretamente da propriedade A e das definições de *overlapping_{with}* e *overlapping_{without}*.

Sendo:

$$\left\{ \begin{array}{l} C_{j+1,k+1} = \max(R_{j+1,k+1} + S_{j,j+1,k+1} + P_{(\omega_{\max})j+1,k+1} + P_{(x)j+1,k+1} + P_{(2)j+1,k+1}, C_{j+1,k} + S_{j,j+1,k+1} + P_{(\omega_{\max})j+1,k+1} + P_{(2)j+1,k+1}) \\ \quad \text{overlapping}_{\text{with}} = C_{j+1,k+1} - R_{j+1,k+1} \\ \quad \text{overlapping}_{\text{without}} = C_{j+1,k+1} - C_{j+1,k} \\ C_{j+1,k+1} = \max(C_{j+1,k}, (R_{j+1,k+1} + S_{j,j+1,k+1} + P_{(\omega_{\max})j+1,k+1})) + P_{(2)j+1,k+1} \end{array} \right.$$

Tem-se:

a) Se $R_{j+1,k+1} < C_{j+1,k}$ então $\text{overlapping}_{\text{with}} > 0$ e, portanto se $P_{(x)j+1,k+1} > 0$;

tem-se: $C_{j+1,k+1} = C_{j+1,k} + P_{(2)j+1,k+1}$;

b) Se $\text{overlapping}_{\text{with}} = S_{j,j+1,k+1}$ então $\text{overlapping}_{\text{without}} = C_{j+1,k+1} - C_{j+1,k}$ e, portanto $\text{overlapping}_{\text{without}} = P_{(\omega_{\max})j+1,k+1} + P_{(2)j+1,k+1}$, ou seja: $P_{(x)j+1,k+1} = 0$.

Por fim, essa seção possui como objetivo apresentar e detalhar as propriedades matemáticas que serão utilizadas, e incorporadas, no modelo de programação da produção desenvolvido. Sua elaboração será abordada em seguida, no tópico 5 – Estrutura do Sistema de Programação da Produção.

5. ESTRUTURA DO SISTEMA DE PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO

5.1 INTRODUÇÃO

A estrutura hierárquica do sistema de programação da produção, desenvolvida neste trabalho, e aplicada, através do *software Preactor*, especialista em programação da produção, versão 12.1 (*Advanced Planning System (APS)*), é uma proposta de um procedimento de ordenação da sequência de execução das ordens de produção do sistema de manufatura objeto de estudo. O qual, no entanto, é aplicado em um ambiente real, com o objetivo de redução do *Lead Time* de produção e do nível de estoque em processo (*Work in Process (WIP)*) do *mix* de produtos dos planos de produção, em uma fábrica de embreagens que apresenta *layout* celular.

Ambos os parâmetros, *Lead Time* de produção e estoque em processo (*Work in Process (WIP)*), neste caso, são diretamente dependentes do sincronismo entre as células de manufatura e as células de montagem do produto final, embreagem de veículos leves conforme descrito, em termos de lógica de programação da produção, no modelo conceitual demonstrado pelo autor deste trabalho.

O produto acabado, fabricado através deste sistema de produção, é fornecido para os mercados: de montadoras (*Original Equipment Manufacturer (OEM)*) e de peças de reposição (*Aftermarket (AM)*). Neste caso, o produto compreende, na montagem final, a união, na forma de embalagens individuais, não são montados fisicamente, de três componentes ou subprodutos:

- 1) Platô;
- 2) Disco; e
- 3) Mancal, de acordo com a Figura 40.

Sendo os componentes Platô e Disco fabricados internamente, e o componente mancal fornecido por terceiros.

Figura 40 – Conjunto KIT do produto embreagem. Fonte: empresa objeto do estudo.

O conjunto KIT de embreagem (Platô e Disco) é produzido, e fornecido, pela empresa, objeto do estudo, para atender à demanda de várias montadoras nacionais no ambiente do sistema de manufatura celular abordado, assim como o mercado de reposição.

Devido ao tipo construtivo destes componentes são necessárias duas concepções distintas de célula de manufatura: uma para a fabricação do Platô e outra para a fabricação do disco. O Platô consome mais tempo de fabricação por unidade do que o Disco, o que implica em um número maior de células de manufatura de Platô: são sete células de manufatura de Platô e quatro células de manufatura de disco de acordo com a Figura 41.

A Figura 41 trata do fluxo de produção da unidade fabril, objeto de estudo deste trabalho, considerando o *layout* atual e a proposta de um novo *layout* em estudo pela Engenharia de Processos da empresa.

O presente trabalho trata do desenvolvimento de um procedimento de programação da produção com o uso do *software* APS *Preactor*, considerando a nova proposta de concepção de fluxo de produção em estudo, proposto pela Engenharia de Processos da empresa. Deve ser destacado que a Linha 1 de montagem do KIT atende ao mercado de fornecimento das montadoras (*Original Equipment Manufacturer* (OEM)) e a Linha 2 de montagem, o mercado de fornecimento de peças de reposição (*Aftermarket* (AM)).

Devido ao grande número de possibilidades de configurações possíveis dos KIT's de embreagem (produto final) entregues aos clientes, compostos por: uma unidade de Platô, uma unidade de Disco e uma unidade de Mancal, e contudo, do número de

componentes a serem fornecidos às células de manufatura para a fabricação e, posteriormente, para as linhas de montagem dos KIT's, o sincronismo da operação, não é um mecanismo simples de ser concebido dentro dos padrões de competitividade do setor, ou seja, com o menor *Lead Time* de produção possível e o controle efetivo do *Work in Process* (WIP). O que requer o uso de um *software* especialista em programação da produção com a disponibilidade de módulos funcionais, ou recursos de rastreabilidade das programações a serem realizadas, com diferentes critérios de sequenciamento, dependendo do momento no qual os clientes devem ser atendidos.

Deste modo, o presente trabalho buscou construir um modelo inicial, sem a pretensão de uma solução final, uma vez que o mesmo compreende apenas um tipo de conjunto de KIT's, fabricado em duas células específicas de produção de Platô e Disco, devendo ser estendido para as demais células e seus respectivos conjuntos de KIT's.

IMPACT Project – Manufacture Strategy

Current (Randomized Production)

Fourth Proposal (Synchronized Production)

Figura 41 – Proposta de *layout* (Synchronized Production). Fonte: empresa objeto do estudo. Fonte: empresa objeto do estudo.

A apresentação do desenvolvimento do estudo de caso deste trabalho compreende a descrição das etapas identificadas na sequência deste texto em três diferentes seções: 1) Introdução; 2) Descrição do modelo com a caracterização do processo de fabricação e 3) Análise dos resultados preliminares até o momento do término deste trabalho. Estas etapas são apresentadas ao longo do tópico 5.

5.2 DESCRIÇÃO DO MODELO COM CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO

O procedimento de programação da produção proposto neste trabalho, foi desenvolvido de acordo com as seguintes etapas:

- 1) Busca na literatura de *papers*, dissertações e teses com ênfase na aplicação de *softwares* APS na programação da produção de sistemas de manufatura celular, com o propósito de redução do *Lead Time* de produção e estoque em processo (*Work in Process (WIP)*);
- 2) Pesquisa de campo na indústria objeto do estudo através da busca de toda a documentação do processo de fabricação e caracterização do fluxo de produção, além de procedimentos de planejamento e programação da produção que a empresa dispõe até o presente momento (referência: a data de defesa do presente trabalho). Esta etapa contou com pesquisa de campo com o contato direto com os colaboradores da área de engenharia de processos e visita *in loco* na operação, de modo a obter relatos técnicos quanto a operação da manufatura;
- 3) Definição do grupo de componentes (Platô e Disco) a serem utilizados para o estudo, assim como as respectivas células de manufatura, de acordo com as orientações dos colaboradores envolvidos da empresa objeto do estudo;
- 4) A construção do modelo de **referência**, ressaltando: para **este trabalho**, dos processos de fabricação no *software Preactor*, versão 12.1.0.32140 – categoria 500APS *Advanced Material Control* com os módulos funcionais: 1) *Standard Material Control (SMC)* e 2) *Advanced Material Control (AMC)*.

A escolha do *software* APS *Preactor* foi pautada por duas questões fundamentais para o desenvolvimento do procedimento de programação da produção, proposto neste trabalho: 1) A disponibilidade da licença do *software* do Departamento de Engenharia de

Produção da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC); e 2) Da disponibilidade dos módulos: *Advanced Material Control* (AMC) e *Standard Material Control* (SMC).

Ambos os módulos permitem ao programador buscar a rastreabilidade da relação de interdependência entre os componentes da *Bill of Material* (BOM), no fluxo de produção após, obviamente, a execução do procedimento de programação da produção. O que contribuiu para com a verificação da efetividade de cada cenário devido à aplicação de diferentes regras de sequenciamento por cenário e, do dimensionamento do lote, de modo a mensurar o impacto no *Lead Time* de produção e *Work in Process* (WIP).

O módulo *Advanced Material Control* (AMC) é resultado de um aprimoramento do módulo *Standard Material Control* (SMC), devido ao fato de permitir ao programador modelar as restrições de materiais em um nível mais detalhado, para qualquer tipo de operação de produção ou consumo de matéria prima, componentes, ou produtos acabados, durante qualquer etapa deste processo, de acordo com o fluxo operacional.

Um dos objetivos da proposta em estudo neste trabalho, contudo, é verificar, preliminarmente, o sincronismo de abastecimento das células de manufatura (Platô e Disco) com as linhas de montagem L1 e L2 da nova proposta de *layout* da unidade fabril, de acordo com as Figuras 42 e 43. Não se trata de uma solução definitiva, o presente trabalho representa um primeiro *insight* que deve ser melhor estudado e, conseqüentemente, aprimorado.

Como se trata de um ambiente complexo quanto à manutenção do sincronismo entre as células de manufatura (tanto do componente Platô quanto do componente Disco) com as linhas de montagem do KIT, o presente trabalho trata somente dos itens fornecidos para o mercado de reposição, peças de reposição (*Aftermarket* (AM)).

Além deste recorte, cabe destacar que apenas um grupo de células de manufatura (de Platô e de Disco) foram consideradas neste estudo, são elas: a célula de manufatura PPUM5 (célula de manufatura para a fabricação do Platô); e a célula DPM4 (célula de manufatura para a fabricação do Disco), devido ao maior volume de componentes fabricados e maior capacidade de produção dos componentes. No contexto da linha de fabricação do KIT de embreagem, três grupos de recursos foram considerados: as duas células de manufatura e a linha de montagem do KIT. A linha de montagem dos KIT's atende à fábrica, sendo considerada, portanto, como recurso gargalo.

Individualmente, é considerado como recurso gargalo interno à cada célula de manufatura, o recurso com o maior tempo de ciclo, o qual define o ritmo da célula de manufatura durante a fabricação dos respectivos componentes. Deve ser destacado, contudo, que para cada tipo de componente fabricado na mesma célula, o gargalo pode ser alterado devido ao respectivo roteiro de fabricação.

Figura 42 – Proposta de *layout* (Synchronized Production) (Células PPUM4 e DPM2). Fonte: empresa objeto do estudo.

A Figura 42 ilustra a nova proposta de *layout* da empresa estudada, a qual visa, essencialmente, manter o sincronismo dos processos de fabricação, com os seus respectivos recursos de manufatura integrados através de um sistema conjunto de transferência de componentes, subconjuntos e conjuntos. Partindo do *Buffer* inicial (*Supplier*) até o *Buffer* final (*Clients*). Neste caso, os níveis de estoque dos *Buffers*, incluindo o *Buffer* que precede a *Assembly Line 2*, assim como o *Lead Time* de produção, podem ser considerados como indicadores da efetividade do procedimento de programação da produção proposto quanto ao sincronismo do fluxo de produção, objetivo principal da análise dos resultados deste trabalho.

Figura 43 – Proposta de layout (Synchronized Production) (Células PPUM5 e DPM4). Fonte: empresa objeto do estudo.

A partir da identificação do recurso gargalo da célula de manufatura, por roteiro do componente a ser fabricado, é determinada a capacidade de produção da célula de manufatura como um único recurso, impactando no sincronismo de produção entre as células de manufatura e a linha de montagem.

Caso o sincronismo não ocorra como esperado, o mesmo impacta diretamente no estoque em processo dos componentes, influenciando negativamente os investimentos em estoque em processo (*work in process*) da fábrica, assim como o *lead time* de produção do conjunto KIT de embreagem.

Em relação ao desenvolvimento do modelo de programação da produção, de acordo com o escopo do projeto de pesquisa deste trabalho, o qual deu origem a esta dissertação, podemos verificar o sincronismo entre os recursos produtivos da nova proposta de *layout* celular concebida internamente pela Engenharia de Processos da Empresa, apresentada na Figura 42. Um outro recorte feito neste trabalho, e que deve ser ressaltado, foi limitar o estudo a um único conjunto de KIT de embreagem com volume de produção dentro da variabilidade da média de consumo dos principais conjuntos de KIT de embreagem solicitado pelo mercado de maior consumo, o mercado de reposição.

Neste caso, é descrito no tópico 5.3, o procedimento de cálculo do volume de componentes produzidos nas células de manufatura PPUM4 e DPM2 e **PPUM5 e DPM4** (Estas últimas, consideradas no desenvolvimento do modelo de programação), assim como a capacidade das células, o que direcionou a escolha do *mix* de produtos utilizado, neste estudo, para a demonstração dos resultados da aplicação do procedimento que está sendo proposto.

Como resultado dos cálculos do tópico 5.3, os conjuntos de KIT de embreagem: BA3000000710A1 KIT (AM) e BA3000519001A5 KIT (AM), que consomem os mesmos componentes Platô (073082303201 (AA)) e Disco (101878005878 (BB)) foram os produtos selecionados.

5.3 PROCEDIMENTO DO CÁLCULO DA CAPACIDADE DAS CÉLULAS DE MANUFATURA

O cálculo da capacidade das células de manufatura foi realizado a partir da crono-análise dos tempos de processamento de cada operação realizada no fluxo de produção, entre os recursos do grupo de máquinas das células

Componente Platô	1 sem.	2 sem.	3 sem.	4 sem.	5 sem.	6 sem.	7 sem.	8 sem.	9 sem.	10 sem.	11 sem.	12 sem.	13 sem.
23082314907	4125	0	3630	11550	9735	12210	10230	10065	19470	3960	12375	12375	12375
23082000339	2880	480	4680	4920	5640	5400	2760	4320	4200	4320	4320	4080	4080
23082001464	2805	579	2645	2645	1324	2449	2040	2040	2040	1650	3135	3135	3135
73082303201	0	640	2000	1220	1000	1260	1440	1620	1440	1620	1440	1440	1620
73082303201	990	0	0	660	1320	1320	1155	1485	1320	1320	1485	1320	1320
163082000379	165	0	0	0	660	1815	1650	1485	825	990	1155	1155	1155
163082001285	165	0	200	880	960	1155	1155	1155	990	990	990	990	990
Total	15706	4918	15401	25245	23803	29939	25665	23521	33125	16541	28348	25795	27955
Componente Disco	1 sem.	2 sem.	3 sem.	4 sem.	5 sem.	6 sem.	7 sem.	8 sem.	9 sem.	10 sem.	11 sem.	12 sem.	13 sem.
121878005360	4455	0	0	4831	5896	7225	6020	6020	15439	0	8250	8250	8250
101878005324	330	0	2411	2640	2475	2640	2805	3630	3630	2805	2970	2970	2970
121878006238	1980	579	2645	2645	1324	2449	2040	2040	2040	1650	3135	3135	3135
9862517001	1980	0	1980	3630	2640	2970	2310	1980	2310	2310	2310	1980	2640
81878006664	0	0	0	0	0	3081	3060	3420	3240	3240	3420	2880	3330
141864000103	1222	1080	3080	2860	0	1260	1080	1440	1440	1620	1440	1620	1260
121878006793	0	1031	2000	1220	1000	1260	1440	1620	1440	1620	1440	1440	1620
101878005878	1642	500	300	1000	0	800	0	0	500	0	800	0	500
Total	20858	11361	22087	28484	23723	32905	29421	28270	36704	21534	31281	30145	30420

Tabela 22 – Demanda dos componentes (**período – semana 1 a 13**). Fonte: próprio autor.

Componente Platô	14 sem.	15 sem.	16 sem.	17 sem.	18 sem.	19 sem.	20 sem.	21 sem.	22 sem.	23 sem.	24 sem.	25 sem.
23082314907	10395	12375	12375	3960	12375	10065	19470	10230	12375	3630	12375	11550
23082000339	4080	4320	4080	4080	2880	2880	4680	4680	2760	4080	4080	2760
23082001464	3135	2650	2650	1324	3135	3135	3135	2650	1650	2449	2650	2040
73082303201	1620	1440	1620	1440	1440	1260	1440	1260	1220	1440	1440	1440
73082303201	1155	1155	1155	0	1320	1155	1320	1485	1155	1155	1320	1320
163082000379	1155	1155	1155	1155	0	1155	660	0	1155	1650	1155	990
163082001285	990	1155	1155	1155	990	990	990	990	990	1155	0	200
Total	23580	26980	25520	14744	23780	23470	35530	24692	25207	17264	25050	21770
Componente Disco	14 sem.	15 sem.	16 sem.	17 sem.	18 sem.	19 sem.	20 sem.	21 sem.	22 sem.	23 sem.	24 sem.	25 sem.
121878005360	6250	8250	8250	6250	7225	8250	7225	15439	4455	0	8250	4831
101878005324	2805	2805	2805	2805	2805	2805	2970	2640	2970	2970	2805	2640
121878006238	3135	2650	2650	2645	2040	3135	3135	579	2449	2645	2645	3135
9862517001	3630	3630	0	2310	2970	2310	2640	2310	2640	3630	0	1980
81878006664	2880	2880	2700	0	2700	0	3081	0	3240	3240	0	3420
141864000103	1260	1440	1260	1260	1620	2860	3080	1260	1440	1440	1620	1260
121878006793	1620	1440	1620	1620	1440	1620	1620	1440	1620	1440	1620	1620
101878005878	0	800	0	300	1642	500	0	0	1642	800	300	800
Total	28687	31715	27357	25417	28451	29649	31173	30737	27826	23241	24656	25939

Tabela 23 – Demanda dos componentes (período – semana 14 a 25). Fonte: próprio autor.

Componente Platô	26 sem.	27 sem.	28 sem.	29 sem.	30 sem.	31 sem.	32 sem.	33 sem.	34 sem.	35 sem.	36 sem.	37 sem.
23082314907	0	10395	12375	10065	12375	10395	12375	12375	0	12375	10395	12375
23082000339	480	5640	5640	4080	2880	5400	2760	4320	4200	4080	5640	4080
23082001464	3135	1324	2645	3135	1324	3135	3135	2040	2040	2650	2040	2040
73082303201	1440	1620	1620	1220	0	1440	1440	1000	1440	1620	0	2000
73082303201	660	1155	1320	1155	0	1155	1320	1320	1320	1320	1155	0
163082000379	1155	0	1155	0	1155	1485	660	1485	660	825	1155	1155
163082001285	1155	165	165	0	990	1155	990	880	0	880	1155	990
Total	12015	22812	27142	22462	20535	26734	25194	24484	11765	25925	24433	28027
Componente Disco	26 sem.	27 sem.	28 sem.	29 sem.	30 sem.	31 sem.	32 sem.	33 sem.	34 sem.	35 sem.	36 sem.	37 sem.
121878005360	8250	6250	8250	0	0	8250	8250	7225	6250	6020	8250	8250
101878005324	2970	2805	2805	2970	2640	2640	2640	2805	3630	2805	2411	330
121878006238	2650	2645	1324	2040	2645	3135	2650	1324	2449	579	2650	2650
9862517001	1980	3630	3630	0	3630	1980	3630	2640	2970	2310	2640	1980
81878006664	3081	3060	0	3081	2880	2880	3081	3330	3060	0	2700	3240
141864000103	1080	1440	3080	1440	1080	1260	2860	1260	1440	2860	1440	1440
121878006793	1620	1440	1620	1000	1440	1440	1440	1620	1000	1000	1220	1620
101878005878	800	0	500	0	0	800	0	500	1642	800	0	0
Total	28088	28258	29529	16246	25292	31045	32287	31005	31890	24933	28706	25683

Tabela 24 – Demanda dos componentes (**período – semana 26 a 37**). Fonte: próprio autor.

Componente Platô	38 sem.	39 sem.	40 sem.	41 sem.	42 sem.	43 sem.	44 sem.	45 sem.	46 sem.	47 sem.	48 sem.	49 sem.
23082314907	10395	10230	11550	12375	0	3630	12375	3960	12375	12375	12375	10065
23082000339	5640	2760	5640	5640	480	4920	5400	5640	480	5640	4920	4080
23082001464	579	2040	3135	2650	3135	2650	3135	3135	2650	2645	2650	1650
73082303201	1440	640	1440	1260	1620	1620	640	1620	1000	1620	2000	1620
73082303201	0	1320	1485	1320	1155	1155	660	1155	1155	0	1320	1320
163082000379	1155	1155	1815	0	1155	990	0	990	1815	825	1155	990
163082001285	960	1155	0	990	990	990	200	1155	200	990	1155	1155
Total	23609	24235	28242	27676	10238	18605	24645	19175	22330	26499	28801	23400
Componente Disco	38 sem.	39 sem.	40 sem.	41 sem.	42 sem.	43 sem.	44 sem.	45 sem.	46 sem.	47 sem.	48 sem.	49 sem.
121878005360	0	7225	0	6250	6020	8250	6020	4455	15439	8250	0	6020
101878005324	2640	2970	2805	330	2805	2411	330	2475	3630	3630	2805	2640
121878006238	579	3135	3135	2650	3135	3135	3135	2040	3135	1324	2650	3135
9862517001	0	2970	3630	2640	1980	3630	3630	1980	0	2640	2310	1980
81878006664	3420	3420	2880	0	0	2880	2880	3420	0	2880	2880	3081
141864000103	1620	1620	1260	1440	1440	1440	1080	1260	3080	3080	1440	1080
121878006793	1620	1220	1440	1031	2000	0	1620	1620	2000	1440	1620	0
101878005878	800	800	500	800	0	0	0	0	0	0	500	0
Total	19671	31003	24927	24890	26682	29035	27623	26723	36024	31247	22222	24731

Tabela 25 – Demanda dos componentes (período – semana 38 a 49). Fonte: próprio autor.

Com base nos resultados da crono-análise, é identificado o recurso gargalo (j), assim como o tempo de ciclo do recurso gargalo, para cada componente (i), fabricado na célula de manufatura, sendo:

- 1) $TC_{RG-cronoanálise}(i,j)$ – tempo de ciclo de cada recurso de manufatura obtido por crono-análise;
- 2) $TC_{RG-calculado}(i,j)$ – tempo de ciclo do recurso gargalo ajustado a partir do resultado do processo de medição da crono-análise, item 1). O $TC_{RG-calculado}(i,j)$ é obtido através das expressões (17), (18) e (19).

O recurso gargalo representa o recurso de maior tempo de ciclo do grupo de recursos que compõem o fluxo produtivo da célula de manufatura. As Tabelas 22 a 25 mostram a demanda por semana, durante 49 semanas, dos componentes Platô e Disco, definidos para o estudo, como proposto neste trabalho.

A partir da crono-análise, para a obtenção da amostra de medição do tempo de ciclo de cada recurso da célula de manufatura, é realizado, devido ao problema da variabilidade, o cálculo de ajuste, definido pela notação matemática do tópico 5.3.

As células de manufatura da empresa estudada possuem três diferentes categorias de nível de automação dos processos, são elas: 1) processo automático (uso de equipamento automático); 2) processo semi-automático (uso de equipamento semi-automático); e 3) processo com interferência direta da mão de obra (uso de equipamento sem automação do processo, operação manual).

Segundo informações obtidas em documentações internas, na empresa objeto de estudo, os seguintes fatores de correção são considerados:

Para **operação com equipamento automático** o ajuste do tempo de ciclo calculado é realizado a partir da expressão (15).

$$\rightarrow TC_{RG-calculado} = (TC_{RG-cronoanálise} \times 1,03) \quad (17)$$

Para **operação com equipamento semi-automático** o ajuste do tempo de ciclo calculado é realizado a partir da expressão (16).

$$\rightarrow TC_{RG-calculado} = (TC_{RG-cronoanálise} \times 1,10) \quad (18)$$

Para **operação manual** o ajuste do tempo de ciclo calculado é realizado a partir da expressão (17).

$$\rightarrow TC_{RG-calculado} = (TC_{RG-cronoanálise} \times 1,15) \quad (19)$$

As Tabelas 26 e 27 mostram o ajuste do Tempo de Ciclo das células de manufatura PPUM4, DPM2 e **PPUM5, DPM4** para os componentes adotados neste estudo, de acordo com os argumentos de seleção apresentados.

Conjunto KIT	Componentes (Platô e Disco)	Célula de manufatura	Tempo de ciclo do recurso gargalo	Recurso gargalo	Tempo de ciclo ajustado	
					Setup	TCF
BA3000000710A1 KIT (AM)	073082303201 (AA) (Platô)	PPUM4	19,75 segundos	Reguladora Manual (TC-15%)	3 seg.	25,71 seg.
BA3000519001A5 KIT (AM)	101878005878 (BB) (Disco)	DPM2	10,89 segundos	Muri Automático (TC-3%)	1 seg.	12,22 seg.

** (Platô) TCF – tempo de ciclo final $\rightarrow TC_{RG-calculado} = (TC_{RG-cronoanálise} \times 1,15) + t_{setup(i,j)}$

** (Disco) TCF – tempo de ciclo final $\rightarrow TC_{RG-calculado} = (TC_{RG-cronoanálise} \times 1,03) + t_{setup(i,j)}$

Tabela 26 – Cálculo do tempo de ciclo ajustado (PPUM4 e DPM2). Fonte: próprio autor.

Conjunto KIT	Componentes (Platô e Disco)	Célula de manufatura	Tempo de ciclo do recurso gargalo	Recurso gargalo	Tempo de ciclo ajustado	
					setup	TCF
BA3000000710A1 KIT (AM)	073082303201 (AA) (Platô)	PPUM5	15,23 segundos	Rebitadeira Automático (TC-3%)	3 seg.	18,69 seg.
BA3000519001A5 KIT (AM)	101878005878 (BB) (Disco)	DPM4	16,47 segundos	Muri Automático (TC-3%)	1,4 seg.	18,36 seg.

** (Platô) TCF – tempo de ciclo final $\rightarrow TC_{RG-calculado} = (TC_{RG-cronoanálise} \times 1,03) + t_{setup(i,j)}$

** (Disco) TCF – tempo de ciclo final $\rightarrow TC_{RG-calculado} = (TC_{RG-cronoanálise} \times 1,03) + t_{setup(i,j)}$

Tabela 27 – Cálculo do tempo de ciclo ajustado (**PPUM5 e DPM4**). Fonte: próprio autor.

As Tabelas 26 e 27 apresentam o tempo de ciclo ajustado dos componentes 073082303201 (AA) (**Platô**) e 101878005878 (BB) (**Disco**), quando produzidos nas células de manufatura PPUM4 e DPM2 e **PPUM5 e DPM4**.

Como as respectivas células de manufatura encontram-se aptas a produzirem um número significativo de diferentes componentes de Platô e Disco, fabricados e distribuídos pela empresa, cabe, quanto ao procedimento de cálculo de capacidade, determinar a disponibilidade dos recursos disponíveis a cada conjunto Platô e Disco, possíveis de serem fabricados.

O tópico 5.4 determina a capacidade disponível aos componentes considerados para as células de manufatura PPUM4 e DPM2, enquanto que o tópico 5.5 determina a capacidade que cabe aos componentes considerados para as células de manufatura PPUM5 e DPM4.

5.4 CÁLCULO DE CAPACIDADE DAS CÉLULAS DE MANUFATURA PPUM4 E DPM2

As Tabelas 28 e 29 mostram os componentes mais significativos que podem ser produzidos nas células de manufatura PPUM4 e DPM2, respectivamente, assim como os gráficos das Figuras 44 e 45. O histórico de produção das células de manufatura compreende um período de quarenta e nove semanas.

A célula de fabricação do Platô (PPUM4) pode produzir em torno de trinta e seis tipos diferentes de Platô, dependendo da disponibilidade das demais células, compreendendo, neste período, um volume de produção da ordem de 1.132.532 de unidades, ou seja, em torno de 23.112 unidades por semana.

Enquanto a célula de fabricação do Disco (DPM2) produz em torno de setenta tipos diferentes de disco, compreendendo, neste período, um volume de produção da ordem de 1.339.781 de unidades, ou seja, em torno de 27.342 unidades por semana.

No caso do Platô, a produção total dos sete principais componentes em termos de volume de produção produzido, de acordo com a Tabela 28, corresponde a 998.977 unidades, o equivalente a 88,21% da produção total. O Platô utilizado como exemplo neste trabalho corresponde a 6%.

No caso do Disco, a produção total dos oito principais componentes, em termos de volume de produção produzido, de acordo com a Tabela 29, corresponde a 939.435 unidades, o equivalente a 70,12% da produção total.

O Disco utilizado como exemplo neste trabalho corresponde a 2%.

Neste trabalho, após o cálculo do tempo de ciclo ajustado a partir das expressões matemáticas (17) a (19), calcula-se o tempo de ciclo ponderado apresentado nas Tabelas 26 e 27, como demonstrado a partir do cálculo da média da demanda total do *mix* de produtos, de acordo com a expressão matemática (20), sendo o período de tempo (p) = 1 → pt.

Componentes de maior demanda					
Demanda (un.)	Demanda Acumulada	% Demanda	% Demanda Acumulada	Código do Item	Tempo de Ciclo ponderado(s)
480.480	480.480	42%	42%	23082314907	18,74
197.880	678.360	17%	60%	23082000339	18,74
118.922	797.282	11%	70%	23082001464	18,05
65.160	862.442	6%	76%	73082303201	23,34
51.315	913.757	5%	81%	73082303201	16,92
45.375	959.132	4%	85%	163082000379	21,17
39.845	998.977	4%	88%	163082001285	20,31

Tabela 28 – Principais componentes Platô produzidos na célula de manufatura PPUM4.

Fonte: próprio autor.

Componentes de maior demanda					
Demanda (un.)	Demanda Acumulada	% Demanda	% Demanda Acumulada	Código do Item	Tempo de Ciclo ponderado(s)
302.485	302.485	23%	23%	121878005360	11,53
127.023	429.508	9%	32%	101878005324	11,51
117.569	547.077	9%	41%	121878006238	11,53
115.500	662.577	9%	49%	9862517001	11,95
107.946	770.523	8%	58%	81878006664	12,62
79.722	850.245	6%	63%	141864000103	12,22
67.922	918.167	5%	69%	121878006793	12,29
21.268	939.435	2%	70%	101878005878	12,62

Tabela 29 – Principais componentes Disco produzidos na célula de manufatura DPM2.

Fonte: próprio autor.

Neste trabalho n = 49 semanas. A Figura 44 demonstra o comportamento da demanda do componente Platô, segundo a expressão 20.

$$\bar{d}_i = \sum_{p=1}^{pt} d_i \quad (20)$$

O cálculo do tempo de ciclo ponderado do *mix* de produtos fabricados, para cada célula de manufatura, permite um cálculo da capacidade do recurso de modo mais preciso, uma vez que cada componente, devido ao roteiro de fabricação, apresenta, em seu fluxo de produção, o comportamento de recurso gargalo em máquinas diferentes do grupo de máquinas da célula. Resultado no qual, quando ponderado com a variabilidade da demanda, demonstra diferentes níveis de ocupação de máquina e, portanto, diferentes níveis de desempenho. Tal comportamento altera o nível de disponibilidade de cada equipamento e, conseqüentemente, da célula de manufatura, alterando o tempo disponível do recurso.

Figura 44 – Gráfico do comportamento da demanda do componente Platô. Fonte: próprio autor a partir dos dados fornecidos pela empresa.

Nos gráficos das Figuras 44 e 45 a primeira linha da Tabela, Demanda, é determinada para cada um dos principais componentes quanto ao volume produzido, e representa a soma do volume por semana, das 49 semanas consideradas.

Figura 45 – Gráfico do comportamento da demanda do componente Disco. Fonte: próprio autor a partir dos dados fornecidos pela empresa.

A porcentagem da demanda, no gráfico, representa a média, das 49 semanas consideradas, de cada componente dividida pela média total dos componentes, ao longo das 49 semanas, conforme a expressão matemática (20). E a última linha representa a porcentagem da demanda acumulada ao longo das 49 semanas.

Após o cálculo da média da demanda de cada produto, durante o período de n semanas considerado, é realizado o cálculo da média das demandas no período n de cada um dos produtos, resultando na média do *mix* de produtos considerados, de acordo com a expressão matemática (21).

$$\bar{d}_{i \rightarrow n} = \sum_{i=1}^n \sum_{p=1}^{pt} d_i \quad (21)$$

A participação da demanda de cada componente no *mix* de produtos é calculado por meio da expressão matemática (22).

$$\% \left(\frac{\bar{d}_i}{\bar{d}_{i \rightarrow n}} \right) = \sum_{p=1}^{pt} d_i \div \sum_{i=1}^n \sum_{p=1}^{pt} d_i \quad (22)$$

Como exemplo, é demonstrado o cálculo da $\% \left(\frac{\bar{d}_i}{\bar{d}_{i \rightarrow n}} \right)$ para os componentes Platô (073082303201 (AA)) e Disco (101878005878 (BB)).

- 1) $\% \left(\frac{\bar{d}_i}{\bar{d}_{i \rightarrow n}} \right) = \frac{1.329,8}{23.112,8} = 5,750 \approx 6\%$ - Platô (073082303201 (AA))
- 2) $\% \left(\frac{\bar{d}_i}{\bar{d}_{i \rightarrow n}} \right) = \frac{434}{27.342,5} = 1,587 \approx 2\%$ - Disco (101878005878 (BB))

As Tabelas de 30 a 32 para o **Platô**, e as Tabelas de 33 a 35 para o **Disco**, mostram um resumo do resultado do cálculo de capacidade das respectivas células, de acordo com o procedimento e as expressões matemáticas de (23) a (26), para o cálculo dos Fatores 1 e 2, com a finalidade de obtenção do cálculo ponderado de capacidade das células de manufatura.

Código dos componentes	Tipo Construtivo	Referências		Volume médio produzido	% Demanda	Valor
23082314907	CONJ PLATO MF200	R4	EXPORTL	480480	42,43%	R\$ 114,00
23082000339	CONJ PLATO M200	AA	PLATKITL	197880	17,47%	R\$ 117,00
23082001464	CONJ PLATÔ MF200	H1	VOLKSL	118922	10,50%	R\$ 62,00
73082303201	CONJ PLATO MF190	AA	PLATKITL	65160	5,75%	R\$ 96,00
73082303201	CONJ PLATO MF190	R6	EXPORTL	51315	4,53%	R\$ 95,00
163082000379	CONJ PLATO M220	J2	FORDL	45375	4,01%	R\$ 69,00
163082001285	CONJ PLATO MF220	J2	FORDL	39845	3,52%	R\$ 102,00

Tabela 30 – Resumo dos resultados do cálculo dos fatores 1 e 2 (**Platô**). Fonte: próprio autor.

Código dos componentes	TC Gargalo Crono-análise	TC Gargalo Final (1)	Produção Hora (100%)	Setup (2)	TC Final (1) + (2)	Produção Hora (85%)
23082314907	15,75 segundos	16,22 segundos	221,9140083	2,52 segundos	18,74 segundos	192,0768307
23082000339	15,75 segundos	16,22 segundos	221,9140083	2,52 segundos	18,74 segundos	192,0768307
23082001464	15,78 segundos	16,25 segundos	221,4921186	1,80 segundos	18,05 segundos	199,4084217
73082303201	19,75 segundos	20,34 segundos	176,969399	3,00 segundos	23,34 segundos	154,2251258
73082303201	15,78 segundos	16,25 segundos	221,4921186	0,67 segundos	16,92 segundos	212,7232116
163082000379	18,22 segundos	18,77 segundos	191,8301664	2,40 segundos	21,17 segundos	170,0792758
163082001285	18,22 segundos	18,77 segundos	191,8301664	1,54 segundos	20,31 segundos	177,2822629

Tabela 31 – Resumo dos resultados do cálculo dos fatores 1 e 2 (**Platô**). Fonte: próprio autor.

Código dos componentes	Média Geral	Média do produto/semana	%	Fator 1	Fator 2
23082314907	23112,89796	9805,714286	42,43%	$16,22 * 0,4243 = 6,882443$	$18,74 * 0,4243 = 7,951560$
23082000339	23112,89796	4038,367347	17,47%	$16,22 * 0,1747 = 2,834453$	$18,74 * 0,1747 = 3,274756$
23082001464	23112,89796	2426,979592	10,50%	$16,25 * 0,1050 = 1,706695$	$18,05 * 0,1050 = 1,895705$
73082303201	23112,89796	1329,795918	5,75%	$20,34 * 0,0575 = 1,170402$	$23,34 * 0,0575 = 1,343006$
73082303201	23112,89796	1047,244898	4,53%	$16,25 * 0,0453 = 0,736441$	$16,92 * 0,0453 = 0,766799$
163082000379	23112,89796	926,0204082	4,01%	$18,77 * 0,0401 = 0,751886$	$21,17 * 0,0401 = 0,848042$
163082001285	23112,89796	813,1632653	3,52%	$18,77 * 0,0352 = 0,660251$	$20,31 * 0,0352 = 0,714431$
Total				14,742570	16,794299

Tabela 32 – Resumo dos resultados do cálculo dos fatores 1 e 2 (**Platô**). Fonte: próprio autor.

Código dos componentes	Tipo Construtivo	Referências		Volume médio produzido	% Demanda	Valor
121878005360	CONJ DISCO 200VTB	C1	VOLKSL	302485	22,58%	R\$ 112,00
101878005324	CONJ DISCO 190VTB	F4	FIATL	127023	9,48%	R\$ 117,00
121878006238	CONJ DISCO 200VTB	C1	VOLKSL	117569	8,78%	R\$ 98,00
9862517001	CONJ DISCO 180VTB	X2	FORDL	115500	8,62%	R\$ 71,00
81878006664	CONJ DISCO 180VTB	BB	DISCLEVE	107946	8,06%	R\$ 61,00
141864000103	CONJ DISCO 210TPB	BB	DISCKITL	79722	5,95%	R\$ 87,00
121878006793	CONJ DISCO 200VTB	BB	REPOSL	67922	5,07%	R\$ 100,00
101878005878	CONJ DISCO 190NVTB	BB	DISCLEVE	21268	1,59%	R\$ 77,00

Tabela 33 – Resumo dos resultados do cálculo dos fatores 1 e 2 (**Disco**). Fonte: próprio autor.

Código dos componentes	TC Gargalo Crono-análise	TC Gargalo Final (1)	Produção Hora (100%)	Setup (2)	TC Final (1) + (2)	Produção Hora (85%)
121878005360	10,79 segundos	11,11 segundos	323,9245256	0,42 segundos	11,53 segundos	312,1288052
101878005324	10,69 segundos	11,01 segundos	326,9546895	0,50 segundos	11,51 segundos	312,7524825
121878006238	10,79 segundos	11,11 segundos	323,9245256	0,42 segundos	11,53 segundos	312,1288052
9862517001	11,13 segundos	11,46 segundos	314,0292571	0,49 segundos	11,95 segundos	301,1569446
81878006664	10,89 segundos	11,22 segundos	320,950012	1,40 segundos	12,62 segundos	285,3361022
141864000103	10,89 segundos	11,22 segundos	320,950012	1,00 segundos	12,22 segundos	294,6785957
121878006793	10,72 segundos	11,04 segundos	326,0397044	1,25 segundos	12,29 segundos	292,8829444
101878005878	10,89 segundos	11,22 segundos	320,950012	1,40 segundos	12,62 segundos	285,3361022

Tabela 34 – Resumo dos resultados do cálculo dos fatores 1 e 2 (**Disco**). Fonte: próprio autor.

Código dos componentes	Média Geral	Média do produto/semana	%	Fator 1	Fator 2
121878005360	27342,46939	6173,163265	22,58%	11,11 * 0,2258 = 2,509162	11,53 * 0,2258 = 2,603986
101878005324	27342,46939	2592,306122	9,48%	11,01 * 0,0948 = 1,043911	11,51 * 0,0948 = 1,091315
121878006238	27342,46939	2399,367347	8,78%	11,11 * 0,0878 = 0,975254	11,53 * 0,0878 = 1,012110
9862517001	27342,46939	2357,142857	8,62%	11,46 * 0,0862 = 0,988281	11,95 * 0,0862 = 1,030523
81878006664	27342,46939	2202,979592	8,06%	11,22 * 0,0806 = 0,903728	16,92 * 0,0806 = 1,016526
141864000103	27342,46939	1626,979592	5,95%	11,22 * 0,0595 = 0,667436	12,22 * 0,0595 = 0,726940
121878006793	27342,46939	1386,163265	5,07%	11,04 * 0,0507 =	12,29 * 0,0507 = 0,623139
101878005878	27342,46939	434,0408163	1,59%	11,22 * 0,0159 =	12,62 * 0,0159 = 0,200280
Total				7,647541	8,104539

Tabela 35 – Resumo dos resultados do cálculo dos fatores 1 e 2 (**Disco**). Fonte: próprio autor.

$$Fator_{1(i)} = TC \text{ Gargalo } final_i \times \%Demanda_i \quad (23)$$

$$Fator_{1(i \rightarrow n)} = \sum_{i=1}^n (TC \text{ Gargalo } final_i \times \%Demanda_i) \quad (24)$$

$$Fator_{2(i)} = TC \text{ final}_i \times \%Demanda_i \quad (25)$$

$$Fator_{2(i \rightarrow n)} = \sum_{i=1}^n (TC \text{ final}_i \times \%Demanda_i) \quad (26)$$

Os gráficos das Figuras 46 e 47 apresentam o tempo de ciclo ponderado dos componentes Platô e Disco, os quais participam do grupo dos principais itens do *mix*.

Figura 46 – Tempo de ciclo ponderado do grupo de componentes (**Platô**). Fonte: próprio autor.

Figura 47 – Tempo de ciclo ponderado do grupo de componentes (**Disco**). Fonte: próprio autor.

A partir dos dados apontados, a capacidade das células de manufatura pode ser calculada de acordo com as Tabelas 36 e 37.

PPUM4	
Ciclo Gargalo Ponderado (Expressão Matemática (1.8) – $Fator_{1(i \rightarrow n)}$ (Tabela 32)	14,74
Ciclo Ponderado (Gargalo, Acíclico e Setup) – Expressão Matemática (2.0) – $Fator_{2(i \rightarrow n)}$ (Tabela 32)	16,79
Eficiência (OEE)	66%
Turno	2
Horas dia	15,16
Dias 6 x 1 (24); 6 x 2 (29)	24
Capacidade Hora Projetada (85%) → (3600 segundos / $Fator_{2(i \rightarrow n)}$) × Eficiência (OEE)	141
Capacidade Dia Projetada (21h) ($141 \times 15,16$)	2145
Capacidade Mês Projetado ($2145 \times 15,16$)	51475
Demanda Média total:	23.113
Tempo Takt Time [$1/(((23.113/24)/(15,16*0,66))/3600)$]	37,40
Saldo de Capacidade (mês) ($51.475 - 23.133$)	28.362
GAP (s) ($37,40 - 16,79$)	20,61
Ocupação: ($23.113 / 51.145$)	44,90%
Média dia Atual	10.499
Performace [$(10.499/(2.145 * 1,15)) * 100$]	426%
GAP dia versus capacidade ($10.499 - 2.145$)	8.354
GAP mês versus capacidade ($8.354 * 24$)	200.501
GAP mês versus demanda [$(10.499 * 24) - 23.113$]	228.863

Operadores	12
Produtividade Projetada (peças/hora/homem) (141 / 6)	11,79

Tabela 36 – Cálculo da capacidade da célula de manufatura PPUM2. Fonte: próprio autor.

DPM2	
Ciclo Gargalo Ponderado – Expressão Matemática (1.8) – $Fator_{1(i \rightarrow n)}$ (Tabela 35)	7,65
Ciclo Ponderado (Gargalo, Acíclico e <i>Setup</i>) – Expressão Matemática (2.0) – $Fator_{2(i \rightarrow n)}$ (Tabela 35)	8,10
Eficiência (OEE)	75%
Turno	2
Horas dia	15,16
Dias 6 x 1 (24); 6 x 2 (29)	24
Capacidade Hora Projetada (85%) $\rightarrow (3600 \text{ segundos} / Fator_{2(i \rightarrow n)}) \times \text{Eficiência (OEE)}$	333
Capacidade Dia Projetada (21h) (333 $\times$ 15,16)	5051
Capacidade Mês Projetado (5.051 $\times$ 15,16)	121.212
Demanda Média total:	27.342
Tempo <i>Takt Time</i> [1/(((27.342/24)/(15,16*0,75))/3600)]	35,93
Saldo de Capacidade (mês) (121.212 – 27.342)	93.870
GAP (s) (35,93 – 8,10)	27,82
Ocupação: (27.342 / 121.212)	22,56%
Média dia Atual	10.753
<i>Performace</i> [(10.753/(5.051 * 1,15)) * 100]	185%
GAP dia versus capacidade (10.753 – 5.051)	5.702
GAP mês versus capacidade (5.702 * 24)	136.860
GAP mês versus demanda [(10.753 * 24) – 27.342]	230.730
Operadores	6
Produtividade Projetada (peças/hora/homem) (333 / 6)	55,52

Tabela 37 – Cálculo da capacidade da célula de manufatura DPM2. Fonte: próprio autor.

5.5 CÁLCULO DE CAPACIDADE DAS CÉLULAS DE MANUFATURA PPUM5 E DPM4

As Tabelas 38 e 39 mostram os componentes mais significativos que podem ser produzidos nas células de manufatura PPUM5 e DPM4, respectivamente, assim como os gráficos das Figuras 48 e 49. O histórico de produção das células de manufatura compreende um período de quarenta e nove semanas. A célula de fabricação do Platô (PPUM5) pode produzir, em torno de, trinta e seis tipos diferentes de Platô, dependendo da disponibilidade das demais células, compreendendo, neste período, um volume de produção da ordem de 1.132.532 de unidades, ou seja, em torno de 23.113 unidades por semana.

Enquanto a célula de fabricação do Disco (DPM4) produz em torno de setenta tipos diferentes de disco, compreendendo, neste período, um volume de produção da ordem de 1.339.781 de unidades, ou seja, em torno de 27.342 unidades por semana.

No caso do Platô, a produção total dos sete principais componentes, em termos de volume de produção produzido, de acordo com a Tabela 38, corresponde a 998.977 unidades, o equivalente a 88,21% da produção total. O Platô utilizado como exemplo neste trabalho corresponde a 6%.

No caso do Disco, a produção total dos oito principais componentes, em termos de volume de produção produzido, de acordo com a Tabelas 39, corresponde a 939.435 unidades, o equivalente a 70,12% da produção total. O Disco utilizado como exemplo neste trabalho corresponde a 2%.

Componentes de maior demanda					
Demanda	Demanda Acumulada	% Demanda	% Demanda Acumulada	Código do Item	Tempo de Ciclo ponderado
480.480	480.480	42%	42%	23082314907	15,03
197.880	678.360	17%	60%	23082000339	15,03
118.922	797.282	11%	70%	23082001464	14,33
65.160	862.442	6%	76%	73082303201	18,69
51.315	913.757	5%	81%	73082303201	13,20
45.375	959.132	4%	85%	163082000379	16,87
39.845	998.977	4%	88%	163082001285	16,01

Tabela 38 – Principais componentes Platô produzidos na célula de manufatura PPUM5.

Fonte: próprio autor.

Componentes de maior demanda					
Demanda	Demanda Acumulada	% Demanda	% Demanda Acumulada	Código do Item	Tempo de Ciclo ponderado
302.485	302.485	23%	23%	121878005360	17,23
127.023	429.508	9%	32%	101878005324	17,15
117.569	547.077	9%	41%	121878006238	17,23
115.500	662.577	9%	49%	9862517001	17,83
107.946	770.523	8%	58%	81878006664	18,36
79.722	850.245	6%	63%	141864000103	17,96
67.922	918.167	5%	69%	121878006793	17,95
21.268	939.435	2%	70%	101878005878	18,36

Tabela 39 – Principais componentes Disco produzidos na célula de manufatura DPM4.

Fonte: próprio autor.

Neste trabalho, após o cálculo do tempo de ciclo ajustado, a partir das expressões matemáticas de (17) a (19), calcula-se o tempo de ciclo ponderado apresentado nas Tabelas 26 e 27 como demonstrado, a partir do cálculo da média da demanda total do *mix* de produtos, de acordo com a expressão matemática (20), sendo o período de tempo (p) = 1 → pt. Neste trabalho $n = 49$ semanas. A Figura 48 demonstra o comportamento da demanda do componente Platô.

Figura 48 – Gráfico do comportamento da demanda do componente Platô. Fonte: próprio autor a partir dos dados fornecidos pela empresa.

O cálculo do tempo de ciclo ponderado do *mix* de produtos fabricados, para cada célula de manufatura, permite um cálculo da capacidade do recurso de modo mais preciso, uma vez que cada componente, devido ao roteiro de fabricação, apresenta, em seu fluxo de produção, o comportamento de recurso gargalo em máquinas diferentes do grupo de máquinas da célula.

Resultado no qual, quando ponderado com a variabilidade da demanda, demonstra diferentes níveis de ocupação de máquina e, portanto, diferentes níveis de desempenho. Tal comportamento altera o nível de disponibilidade de cada equipamento e, conseqüentemente, da célula de manufatura, alterando o tempo disponível do recurso. A Figura 49 demonstra o comportamento da demanda do componente Disco.

Figura 49 – Gráfico do comportamento da demanda do componente Disco. Fonte: próprio autor a partir dos dados fornecidos pela empresa.

Nos gráficos das Figuras 48 e 49, a primeira linha da Tabela, Demanda, é determinada para cada um dos principais componentes, quanto ao volume produzido, e representa a soma do volume por semana das 49 semanas consideradas.

A porcentagem da demanda, na segunda linha da Tabela do gráfico, representa a média das 49 semanas consideradas, de cada componente, dividida pela média total dos componentes ao longo das 49 semanas (expressão matemática (20). E a última linha representa a porcentagem da demanda acumulada, ao longo das 49 semanas. Após o cálculo da média da demanda de cada produto, durante o período de n semanas

considerado, é realizado o cálculo da média das demandas no período n , de cada um dos produtos, resultando na média do *mix* de produtos considerados, de acordo com a expressão matemática (21).

A participação da demanda de cada componente, no *mix* de produtos, é calculada pela expressão matemática (22).

Como exemplo, é demonstrado o cálculo da $\% \left(\frac{\bar{d}_i}{\bar{d}_{i \rightarrow n}} \right)$ para os componentes Platô (073082303201 (AA)) e Disco (101878005878 (BB)).

$$1) \% \left(\frac{\bar{d}_i}{\bar{d}_{i \rightarrow n}} \right) = \frac{1.329,8}{23.112,8} = 5,750 \approx 6\% - \text{Platô (073082303201 (AA))}$$

$$2) \% \left(\frac{\bar{d}_i}{\bar{d}_{i \rightarrow n}} \right) = \frac{434}{27.342,5} = 1,587 \approx 2\% - \text{Disco (101878005878 (BB))}$$

As Tabelas 40 a 42 para o **Platô**, e de 43 a 45 para o **Disco**, mostram um resumo do resultado do cálculo de capacidade das células, de acordo com o procedimento e as expressões matemáticas de (23) a (26), para o cálculo dos Fatores 1 e 2 (expressões de (23) a (26)), com a finalidade de obtenção do cálculo ponderado de capacidade das células de manufatura.

Código dos componentes	Tipo Construtivo	Referências		Volume médio produzido	% Demanda	Valor
23082314907	CONJ PLATO MF200	R4	EXPORTL	480480	42,43%	R\$ 114,00
23082000339	CONJ PLATO M200	AA	PLATKITL	197880	17,47%	R\$ 117,00
23082001464	CONJ PLATÔ MF200	H1	VOLKSL	118922	10,50%	R\$ 62,00
73082303201	CONJ PLATO MF190	AA	PLATKITL	65160	5,75%	R\$ 96,00
73082303201	CONJ PLATO MF190	R6	EXPORTL	51315	4,53%	R\$ 95,00
163082000379	CONJ PLATO M220	J2	FORDL	45375	4,01%	R\$ 69,00
163082001285	CONJ PLATO MF220	J2	FORDL	39845	3,52%	R\$ 102,00

Tabela 40 – Resumo dos resultados do cálculo dos fatores 1 e 2 (**Platô**). Fonte: próprio autor.

Código dos componentes	TC Gargalo Crono-análise	TC Gargalo Final (1)	Produção Hora (100%)	Setup (2)	TC Final (1) + (2)	Produção Hora (85%)
23082314907	12,15 segundos	12,51 segundos	287,7739559	2,52 segundos	15,03 segundos	239,5238481
23082000339	12,15 segundos	12,51 segundos	287,7739559	2,52 segundos	15,03 segundos	239,5238481
23082001464	12,17 segundos	12,53 segundos	287,2268571	1,80 segundos	14,33 segundos	251,1572966
73082303201	15,23 segundos	15,69 segundos	229,490623	3,00 segundos	18,69 segundos	192,6481666
73082303201	12,17 segundos	12,53 segundos	287,2268571	0,67 segundos	13,20 segundos	272,6519449
163082000379	14,05 segundos	14,47 segundos	248,7617895	2,40 segundos	16,87 segundos	213,3753645
163082001285	14,05 segundos	14,47 segundos	248,7617895	1,54 segundos	16,01 segundos	224,8359271

Tabela 41 – Resumo dos resultados do cálculo dos fatores 1 e 2 (**Platô**). Fonte: próprio autor.

Código dos componentes	Média Geral	Média do produto/semana	%	Fator 1	Fator 2
23082314907	23112,89796	9805,714286	42,43%	$12,51 * 0,4243 = 5,307327$	$15,03 * 0,4243 = 6,376444$
23082000339	23112,89796	4038,367347	17,47%	$12,51 * 0,1747 = 2,185760$	$15,03 * 0,1747 = 2,626063$
23082001464	23112,89796	2426,979592	10,50%	$12,53 * 0,1050 = 1,316101$	$14,33 * 0,1050 = 1,505111$
73082303201	23112,89796	1329,795918	5,75%	$15,69 * 0,0575 = 0,902544$	$18,69 * 0,0575 = 1,075148$
73082303201	23112,89796	1047,244898	4,53%	$12,53 * 0,0453 = 0,567899$	$13,20 * 0,0453 = 0,598257$
163082000379	23112,89796	926,0204082	4,01%	$14,47 * 0,0401 = 0,579809$	$16,87 * 0,0401 = 0,675965$
163082001285	23112,89796	813,1632653	3,52%	$14,47 * 0,0352 = 0,509146$	$16,01 * 0,0352 = 0,563326$
Total				11,368585	13,420315

Tabela 42 – Resumo dos resultados do cálculo dos fatores 1 e 2 (**Platô**). Fonte: próprio autor.

Código dos componentes	Tipo Construtivo	Referências		Volume médio produzido	% Demanda	Valor
121878005360	CONJ DISCO 200VTB	C1	VOLKSL	302485	22,58%	R\$ 112,00
101878005324	CONJ DISCO 190VTB	F4	FIATL	127023	9,48%	R\$ 117,00
121878006238	CONJ DISCO 200VTB	C1	VOLKSL	117569	8,78%	R\$ 98,00
9862517001	CONJ DISCO 180VTB	X2	FORDL	115500	8,62%	R\$ 71,00
81878006664	CONJ DISCO 180VTB	BB	DISCLEVE	107946	8,06%	R\$ 61,00
141864000103	CONJ DISCO 210TPB	BB	DISCKITL	79722	5,95%	R\$ 87,00
121878006793	CONJ DISCO 200VTB	BB	REPOSL	67922	5,07%	R\$ 100,00
101878005878	CONJ DISCO 190NVTB	BB	DISCLEVE	21268	1,59%	R\$ 77,00

Tabela 43 – Resumo dos resultados do cálculo dos fatores 1 e 2 (**Disco**). Fonte: próprio autor.

Código dos componentes	TC Gargalo Crono-análise	TC Gargalo Final (1)	Produção Hora (100%)	Setup (2)	TC Final (1) + (2)	Produção Hora (85%)
121878005360	16,32 segundos	16,81 segundos	214,1791362	0,42 segundos	17,23 segundos	208,9577897
101878005324	16,17 segundos	16,65 segundos	216,1826828	0,50 segundos	17,15 segundos	209,8809297
121878006238	16,32 segundos	16,81 segundos	214,1791362	0,42 segundos	17,23 segundos	208,9577897
9862517001	16,83 segundos	17,34 segundos	207,6363773	0,49 segundos	17,83 segundos	201,9295223
81878006664	16,47 segundos	16,96 segundos	212,2123856	1,40 segundos	18,36 segundos	196,0342587
141864000103	16,47 segundos	16,96 segundos	212,2123856	1,00 segundos	17,96 segundos	200,3992724
121878006793	16,21 segundos	16,70 segundos	215,577694	1,25 segundos	17,95 segundos	200,5647475
101878005878	16,47 segundos	16,96 segundos	212,2128495	1,40 segundos	18,36 segundos	196,0346546

Tabela 44 – Resumo dos resultados do cálculo dos fatores 1 e 2 (**Disco**). Fonte: próprio autor.

Código dos componentes	Média Geral	Média do produto/semana	%	Fator 1	Fator 2
121878005360	27342,46939	6173,163265	22,58%	$16,81 * 0,2258 = 3,794857$	$17,23 * 0,2258 = 3,889681$
101878005324	27342,46939	2592,306122	9,48%	$16,65 * 0,0948 = 1,578811$	$17,15 * 0,0948 = 1,626215$
121878006238	27342,46939	2399,367347	8,78%	$16,81 * 0,0878 = 1,474974$	$17,23 * 0,0878 = 1,511830$
9862517001	27342,46939	2357,142857	8,62%	$17,34 * 0,0862 = 1,494677$	$17,83 * 0,0862 = 1,536919$
81878006664	27342,46939	2202,979592	8,06%	$16,96 * 0,0806 = 1,366799$	$18,36 * 0,0806 = 1,479596$
141864000103	27342,46939	1626,979592	5,95%	$16,96 * 0,0595 = 1,009430$	$17,96 * 0,0595 = 1,068934$
121878006793	27342,46939	1386,163265	5,07%	$16,70 * 0,0507 = 0,84659$	$17,95 * 0,0507 = 0,909965$
101878005878	27342,46939	434,0408163	1,59%	$16,96 * 0,0159 = 0,269664$	$18,36 * 0,0159 = 0,291516$
Total				11,566141	12,023139

Tabela 45 – Resumo dos resultados do cálculo dos fatores 1 e 2 (**Disco**). Fonte: próprio autor.

A partir dos dados apontados, a capacidade das células de manufatura pode ser calculada de acordo com as Tabelas 46 e 47.

PPUM5	
Ciclo Gargalo Ponderado (Expressão Matemática (1.8) – $Fator_{1(i \rightarrow n)}$ (Tabela 32)	14,74
Ciclo Ponderado (Gargalo, Acíclico e <i>Setup</i>) – Expressão Matemática (2.0) – $Fator_{2(i \rightarrow n)}$ (Tabela 32)	16,79
Eficiência (OEE)	66%
Turno	2
Horas dia	15,16
Dias 6 x 1 (24); 6 x 2 (29)	24
Capacidade Hora Projetada (85%) $\rightarrow (3600 \text{ segundos} / Fator_{2(i \rightarrow n)}) \times \text{Eficiência (OEE)}$	141
Capacidade Dia Projetada (21h) (141 × 15,16)	2145
Capacidade Mês Projetado (2145 × 15,16)	51475
Demanda Média total:	23.113
Tempo <i>Takt Time</i> $[1/(((23.113/24)/(15,16 \times 0,66))/3600)]$	37,40
Saldo de Capacidade (mês) (51.475 – 23.133)	28.362
GAP (s) (37,40 – 16,79)	20,61
Ocupação: (23.113 / 51.145)	44,90%
Média dia Atual	10.499
<i>Performace</i> $[(10.499/(2.145 \times 1,15)) \times 100]$	426%
GAP dia versus capacidade (10.499 – 2.145)	8.354
GAP mês versus capacidade (8.354 × 24)	200.501
GAP mês versus demanda $[(10.499 \times 24) – 23.113]$	228.863
Operadores	12
Produtividade Projetada (peças/hora/homem) (141 / 6)	11,79

Tabela 46 – Cálculo da capacidade da célula de manufatura PPUM5. Fonte: próprio autor.

Os gráficos das Figuras 50 e 51 apresentam o tempo de ciclo ponderado dos componentes Platô e Disco, os quais fazem parte do grupo dos principais itens do *mix*.

O cálculo da produtividade projetada (peças/hora/homem), para cada uma das células de manufatura PPUM5 e DPM4, permite uma maior precisão do uso dos recursos, por parte das famílias de produtos consideradas neste estudo, sendo utilizado como um parâmetro no procedimento de programação da produção, proposto a partir do *software* APS especialista em programação da produção *Preactor*.

Figura 50 – Tempo de ciclo ponderado do grupo de componentes (**Platô**). Fonte: próprio autor.

Figura 51 – Tempo de ciclo ponderado do grupo de componentes (**Disco**). Fonte: próprio autor.

De acordo com as Figuras 50 e 51, oito são as principais famílias, quanto à demanda dos respectivos produtos e, conseqüentemente, uso dos recursos de manufatura considerados neste trabalho.

Deve ser destacado também que apenas uma das famílias, como mencionado, foi considerado para os primeiros cenários, gerados a partir do procedimento descrito.

DPM4	
Ciclo Gargalo Ponderado – Expressão Matemática (1.8) – $Fator_{1(i \rightarrow n)}$ (Tabela 35)	7,65
Ciclo Ponderado (Gargalo, Acíclico e <i>Setup</i>) – Expressão Matemática (2.0) – $Fator_{2(i \rightarrow n)}$ (Tabela 35)	8,10
Eficiência (OEE)	75%
Turno	2
Horas dia	15,16
Dias 6 x 1 (24); 6 x 2 (29)	24
Capacidade Hora Projetada (85%) $\rightarrow (3600 \text{ segundos} / Fator_{2(i \rightarrow n)}) \times \text{Eficiência (OEE)}$	333
Capacidade Dia Projetada (21h) $(333 \times 15,16)$	5051
Capacidade Mês Projetado $(5.051 \times 15,16)$	121.212
Demanda Média total:	27.342
Tempo <i>Takt Time</i> $[1/(((27.342/24)/(15,16*0,75))/3600)]$	35,93
Saldo de Capacidade (mês) $(121.212 - 27.342)$	93.870
GAP (s) $(35,93 - 8,10)$	27,82
Ocupação: $(27.342 / 121.212)$	22,56%
Média dia Atual	10.753
<i>Performace</i> $[(10.753/(5.051 * 1,15)) * 100]$	185%
GAP dia versus capacidade $(10.753 - 5.051)$	5.702
GAP mês versus capacidade $(5.702 * 24)$	136.860
GAP mês versus demanda $[(10.753 * 24) - 27.342]$	230.730
Operadores	6
Produtividade Projetada (peças/hora/homem) $(333 / 6)$	55,52

Tabela 47 – Cálculo da capacidade da célula de manufatura DPM4. Fonte: próprio autor.

Sistemas de manufatura celular requerem este tipo de procedimento de cálculo e consequente análise dos resultados, devido à variabilidade dos itens da família, quanto aos tempos de processamento e particularidades do fluxo de produção.

Isto se deve ao fato de que qualquer variabilidade de tempos de processamento e movimentação, embora da ordem de segundos, impacta diretamente no desempenho da célula de manufatura, quanto à sua produtividade, em função do tamanho dos lotes de fabricação, como demonstrado através do cálculo matemático descrito e através do qual

o procedimento de programação da produção, desenvolvido e apresentado neste texto, foi concebido.

5.6 ROTEIRO DE FABRICAÇÃO

Esta seção apresenta a descrição do roteiro de fabricação a ser executado nas células de manufatura PPUM5 e DPM4 para a produção dos componentes Platô (073082303201 (AA)) e Disco (101878005878 (BB)).

O modelo de programação da produção, desenvolvido através do *software* Preactor, trata da sincronização do fluxo de produção de duas células de manufatura: a célula DPM4 (Fabricação do componente Disco) e a célula PPUM5 (Fabricação do componente Platô).

Os tópicos 5.6.1 e 5.6.2, como descrito, tratam das particularidades das duas células de manufatura, quanto ao fluxo do processo de fabricação.

5.6.1 CÉLULA DE MANUFATURA DPM4

A célula de manufatura DPM4 produz o disco 101878005878 (BB) a partir de um roteiro de fabricação, de acordo com a Figura 52, em nove operações consecutivas, sendo a operação 40 dividida em três suboperações.

A produção média da célula, por hora, é em torno de 155 peças por hora, parâmetro ajustado através do procedimento de cálculo de capacidade, desenvolvido nos tópicos anteriores. O fluxo de produção descrito, requer um balanceamento prévio da célula de manufatura, com base no recurso gargalo e no *Takt Time* da célula, para cada família de produtos.

A Célula de manufatura DPM4 é responsável pela montagem do conjunto disco de embreagem pequeno, a qual contempla as operações de 10 a 90.

10 - Montar pré-amortecimento e dispor para o posto de montagem manual.
(Operação realizada fora da célula DPM4).

20 - Rebitar disco de torção + molas de guarnição utilizando rebites maciços:

Para a execução desta operação utiliza-se os seguintes componentes: 1) discos de torção, 2) molas de guarnição e 3) rebites maciços para realizar a montagem do subconjunto. Trata-se de uma operação automatizada.

Há um operador para a montagem (inserir componentes e retirar subconjuntos do equipamento – POLLUX) e outro para o abastecimento, que participam também da operação seguinte devido ao balanceamento do fluxo da célula. O abastecimento é considerado uma operação secundária e ocorre segundo o fluxograma em torno de 18,36 segundos.

Figura 52 – Célula DPM4. (155 peças por hora). Fonte: empresa objeto do estudo.

30 - Rebitar guarnições no subconjunto da operação anterior utilizando rebites tubulares e colocar anel auto centrante no subconjunto

Nesta operação há colocação do componente anel auto centrante no subconjunto anterior, realizado, de forma automatizada, pela estação de trabalho SAX, o subconjunto resultante dirige-se, por meio de uma esteira, até o posto de trabalho seguinte.

Ambos operadores da operação 20 participam desta etapa, cujo tempo de ciclo corresponde a 12,03 segundos.

40 - Montar pacote torcional e dispor conjunto para próxima operação:

40.1 - Mesa 1:

Há abastecimento dos seguintes componentes para a montagem do conjunto: anel de atrito, anel ondulado, anel auto centrante, molas helicoidais externas, flange do cubo, placa de controle e anel de pressão. Esses componentes são montados no subconjunto anterior por um operador exclusivo, na mesa 1 da bancada de montagem. Tempo de ciclo: 12,89 segundos.

40.2 - Mesa 2:

São adicionados ao subconjunto anterior os seguintes componentes: pinos distanciadores, pacote de pré-amortecimento e disco de retenção. Assim como a suboperação 40.1, há um operador exclusivo para a montagem. Tempo de ciclo: 13,77 segundos.

50 - Prensar subconjunto:

Nesta operação é utilizada a prensa para realizar a prensagem do subconjunto anterior. Devido ao balanceamento da célula e aos processos automatizados, as operações 50, 70 e 80 são realizadas por um único operador, em um *layout* disposto em U. O tempo de ciclo desta operação corresponde a 8,80 segundos.

60 - Balancear conjunto:

Esta operação consiste no balanceamento do subconjunto utilizando uma balança que é dividida com a célula de manufatura DPM3. A operação em questão é necessária quando requisitada pelo cliente, o que pode ocorrer caso haja inconformidades nas

especificações de determinado lote, ou mesmo para garantir a conformidade de todos os conjuntos.

70 - Medir características funcionais:

Esta, corresponde à operação gargalo da célula de manufatura e consiste em realizar medições de características funcionais do conjunto, além disso, atua como um dispositivo à prova de falhas, *Poka Yoke*.

80 - Gravar conjunto a laser:

Nesta etapa ocorre a gravação a laser do conjunto advindo da operação anterior, segundo codificação que varia conforme o cliente.

90 - Fazer inspeção visual no conjunto:

Esta operação corresponde a uma etapa de verificação final das características do conjunto, é realizada manualmente por um operador. O conjunto é então disposto em um cesto que será expedido posteriormente.

5.6.2 CÉLULA DE MANUFATURA PPUM5

A célula de manufatura PPUM5 produz o Platô (073082303201 (AA)) a partir de um roteiro de fabricação, de acordo com a Figura 53, em oito operações consecutivas, sendo a operação 10 dividida em duas suboperações.

A produção média da célula, por hora, é em torno de 132 peças por hora, parâmetro ajustado através do procedimento de cálculo de capacidade, desenvolvido nos tópicos anteriores.

A Célula de manufatura PPUM5 é responsável pela montagem do conjunto disco de embreagem pequeno, a qual contempla as operações de 10 a 80.

10 – Usinagem da placa de pressão:

Nesta operação ocorre a usinagem da placa de pressão a partir de uma peça bruta, assim como a inspeção visual e medições de características críticas, relativas ao controle

20 – Oleamento da placa de pressão

Nesta etapa ocorre o oleamento dos subconjuntos provenientes das operações anteriores e a disposição dos mesmos para a etapa seguinte, por meio de esteira.

30 - Montagem do conjunto platô:

Nesta operação há a montagem e rebitação do subconjunto resultante da etapa anterior, medição de características críticas e disposição da peça, por meio de esteira, para a operação seguinte. Os componentes utilizados na montagem estão estocados na estação de trabalho. São empregados dois operários, em uma operação semi-automática cujo tempo de ciclo corresponde a 15,50 segundos.

40 - Balanceamento conjunto platô:

Nesta etapa é medido e corrigido o nível de desbalanceamento do conjunto, caso sejam constatadas inconformidades. Existem, também, duas estações de trabalho.

Há o abastecimento da estação de trabalho com rebites de balanceamento e disposição, por meio de esteira, para a operação seguinte.

É empregado um operador para colocação da peça no dispositivo e para acrescentar os rebites de balanceamento, sendo que as suboperações de medição e conferência são automáticas. O tempo de ciclo médio corresponde a 15,70 segundos.

50 - Regular mola membrana:

Nesta operação é realizada a regulagem do conjunto platô anterior e da disposição manual deste mesmo item para a próxima etapa. Trata-se de um processo manual realizado por um operador. O tempo de ciclo corresponde a 15,78 segundos.

60 - Medir carga:

Nesta etapa são medidas características críticas do conjunto platô mediante aplicação de carga. Trata-se de uma operação automática e o operador (mesmo da operação 70) realiza a disposição das peças para a etapa seguinte, manualmente, e o *setup* da máquina de medição de carga e Laser. O tempo de ciclo corresponde a 18,69 segundos.

70 – Gravar de identificação a laser e oleamento do conjunto:

Essa operação é responsável por realizar a gravação a laser do conjunto anterior. O operador (mesmo da operação anterior) é responsável pelo trânsito da peça, a fixação da mesma no Laser e oleamento do conjunto para proteção da gravação de indentificação. O tempo de ciclo desta etapa corresponde a 15,03 segundos.

80 - Inspeção final, e embalagem (Montagem de Kit):

É realizada a inspeção final (visual) do conjunto platô por um operador assim como a embalagem final do item. Os conjuntos são dispostos, manualmente, em locais apropriados (pontos de estoque) para a futura expedição. O tempo de ciclo desta operação corresponde a 12,83 segundos.

Embora o estudo, realizado neste trabalho de pesquisa, contemple duas células de manufatura, uma responsável pela produção de discos e a outra, pela fabricação de platôs, ambos estes, compondo o KIT de embreagem (produto final), existem outras células, na planta da empresa estudada, que também possuem habilitação e homologação para montar os mesmos componentes de disco e platô. As Figuras 54 e 55 mostram as células de manufatura habilitadas para a fabricação desses componentes.

IMPACT Project – Manufacture Strategy

Fourth Proposal (Synchronized Production)

Kit	Descrição	Células de manufatura		Volume/mês
		Platô	Disco	
6614 – (2.900) 9014 – (2.800)	Conjunto KIT de embreagem	PPUM4 PPUM5 PPUM7 PPUM8	DPM2 DPM3 DPM4 DPM5	5.700

Figura 54 – Células de Manufatura habilitadas para a fabricação dos componentes. Fonte: próprio autor.

IMPACT Project – Manufacture Strategy

Fourth Proposal (Synchronized Production)

Kit	Descrição	Células de manufatura		Volume/mês
		Platô	Disco	
6614 – (2.900) 9014 – (2.800)	Conjunto KIT de embreagem	PPUM4 PPUM5 PPUM7 PPUM8	DPM2 DPM3 DPM4 DPM5	5.700

Cell - On

Cell - Off

Cell – Working in other product

Quantidade: 2.000 peças

Cap: capacidade projetada por dia. Jornada de 15:27 horas por dia.

Figura 55 – Células de Manufatura habilitadas para a fabricação dos componentes. Fonte: próprio autor

As Tabelas 48 a 52 tem as informações do Produto acabado selecionado: **BA3000000710A1 KIT (MA)**.

Material (<i>kit</i>)	Componente	WorkCenter	Componente Material	Quantidade
BA3000000710A1 KIT (MA) BA3000519001A5 KIT (AM)	073082303201 (AA) — Conjunto Platô MF190 Conjunto M190	PPUM4	ZFER	1,000
BA3000000710A1 KIT (MA) BA3000519001A5 KIT (AM)	101878005878 (BB) — Conjunto Disco MF190 (NVTB) Conjunto M190NVTB	DPM2 Automático (TC-3%) Gargalo: MURI	ZFER	1,000
BA3000000710A1 KIT (MA) BA3000519001A5 KIT (AM)	009151018000 Conjunto Mancal KZIS-0	-----	ZFER	1,000
BA3000000710A1 KIT (MA) BA3000519001A5 KIT (AM)	003099000055 Caixa Papelão Individual Litografada SACHS	-----	KAUF	1,000
BA3000000710A1 KIT (MA) BA3000519001A5 KIT (AM)	003099000053 Caixa Coletiva	-----	KAUF	1,000
BA3000000710A1 KIT (MA) BA3000519001A5 KIT (AM)	613182000008 Atuador CSC	-----	KAUF	1,000

Tabela 48 – Dados Produto (*kit*) (*Bill of Material* (BOM)).

Unidade ⇒	Minutos					Peças
Componente	Tempo utilização	Tempo operação	Tempo acíclico	Tempo de preparação	Tempo Máquina / Operação / <i>Setup</i>	Quantidade Base
073082303201 (AA)	77,015	70,015	7,000	7,000	55,00	100,00
101878005878 (BB)	39,234	39,234	0,000	7,000	30,00	100,00

Tabela 49 – Dados Roteiro de Fabricação (*Bill of Process* (BOP)).

Item	Ordem de Produção → Item		Operação	Componente	Descrição do Componente	Ordem de Requisição	Quantidade
1			10				
2	OP-0011	 9002019100 (P)	15	9002019099 (P)	Placa de Pressão - Peça Bruta	OC-04 (073082303201) (AA)	1
3			20				
4	OP-001	073082303201 (AA)	30	9032173190 (P)	Carcaça	OC-01 (073082303201) (AA)	1
5	OP-001	073082303201 (AA)	30	3027265900 (P)	Mola Membrana	OC-02 (073082303201) (AA)	1
6	OP-001	073082303201 (AA)	30	3010153000 (P)	Rebite da Mola Membrana 7.0	OC-03 (073082303201) (AA)	6
7	OP-001	073082303201 (AA)	30	 9002019100 (P)	Placa de Pressão - Peça Usinada	OP-0011	1
8	OP-001	073082303201 (AA)	30	3030030201 (P)	Mola de Retrocesso	OC-05 (073082303201) (AA)	6
9	OP-001	073082303201 (AA)	30	003017014025 (P)	Rebite 6 x 9,4	OC-06 (073082303201) (AA)	3
10	OP-001	073082303201 (AA)	30	003017042025 (P)	Rebite 6 x 13,9	OC-07 (073082303201) (AA)	3
11	OP-001	073082303201 (AA)	30	003018000196 (P)	Anel de Articulação	OC-08 (073082303201) (AA)	1
12	OP-001	073082303201 (AA)	30	3018000001	Anel de Articulação	OC-08 (073082303201) (AA)	1
13	OP-001	073082303201 (AA)	30	003010121025 (P)	Painel dos Componentes Pneumáticos	OC-09 (073082303201) (AA)	1
14	OP-001	073082303201 (AA)	30	003010121026 (P)	Rebite de Balanceamento 5,8 x 7,5	OC-10 (073082303201) (AA)	1
15	OP-001	073082303201 (AA)	40	003010121027 (P)	Rebite de Balanceamento 5,8 x 7,5	OC-11 (073082303201) (AA)	1
16	OP-001	073082303201 (AA)	40	003010121028 (P)	Rebite de Balanceamento 5,8 x 7,5	OC-12 (073082303201) (AA)	1
17	OP-001	073082303201 (AA)	40	003010121029 (P)	Rebite de Balanceamento 5,8 x 7,5	OC-13 (073082303201) (AA)	1
18	OP-001	073082303201 (AA)	40	003010121030 (P)	Rebite de Balanceamento 5,8 x 7,5	OC-14 (073082303201) (AA)	1
19	OP-001	073082303201 (AA)	40	003010121031 (P)	Rebite de Balanceamento 5,8 x 7,5	OC-15 (073082303201) (AA)	1
20	OP-001	073082303201 (AA)	40	3010000001 (P)	Rebite de Balanceamento 5,8 x 7,5	OC-16 (073082303201) (AA)	1

Tabela 50 – Dados Conjunto Platô MF190 (*Bill of Material* (BOM)) e (*Bill of Process* (BOP)).

Item	Ordem de Produção → Item		Operação	Componente	Descrição do Componente	Ordem de Requisição	Quantidade
1	OP-0031	001868001566 (M)	10	001868001566 (D)	SJ Amortecimento Torcional (com montagem)	OC-52 (101878005878) (BB)	1
				001830833025 (D)	Mola do Amortecimento Torcional	OC-68 (101878005878) (BB)	4
				001825002160 (D)	Mola do Amortecimento Torcional	OC-75 (101878005878) (BB)	4
2	OP-0021	101878005878 (BB)	20	001847000822 (D)	Disco de Torção	OC-53 (101878005878) (BB)	1
3	OP-0021	101878005878 (BB)	20	001830977025 (D)	Rebite 4,0 x 5,5	OC-65 (101878005878) (BB)	2
4	OP-0021	101878005878 (BB)	20	009825254200 (D)	Mola de Torção	OC-58 (101878005878) (BB)	4
5	OP-0021	101878005878 (BB)	20	001847001042SF (D)	Disco de Torção	OC-74 (101878005878) (BB)	1
5	OP-0021	101878005878 (BB)	20	009825254300 (D)	Mola de Torção	OC-59 (101878005878) (BB)	2
6	OP-0021	101878005878 (BB)	20	001817106025 (D)	Rebite 4,0 x 5,5	OC-65 (101878005878) (BB)	8
7	OP-0021	101878005878 (BB)	20	001830000010 (D)	Mola de Guarnição	OC-66 (101878005878) (BB)	8
8	OP-0021	101878005878 (BB)	30	001818000037 (D)	Anel Espaçador Ondulado	OC-56 (101878005878) (BB)	1
10	OP-0021	101878005878 (BB)	30	001818139000 (D)	Anel Espaçador Ondulado	OC-67 (101878005878) (BB)	1
11	OP-0021	101878005878 (BB)	30	001831622000 (D)	Anel Espaçador	OC-72 (101878005878) (BB)	1
12	OP-0021	101878005878 (BB)	30	001849003521 (D)	Guarnição Tramada S102	OC-76 (101878005878) (BB)	2
13	OP-0021	101878005878 (BB)	30	001831000413 (D)	Anel Auto Centrante	OC-81 (101878005878) (BB)	1
14	OP-0021	101878005878 (BB)	30	001831000732 (D)	Anel Auto Centrante	OC-82 (101878005878) (BB)	1
15	OP-0021	101878005878 (BB)	40	009831613000 (D)	Placa de Controle	OC-69 (101878005878) (BB)	1
16	OP-0021	101878005878 (BB)	40	001831000402 (D)	Anel de Pressão	OC-70 (101878005878) (BB)	1
17	OP-0021	101878005878 (BB)	40	001831335006 (D)	Anel de Atrito	OC-78 (101878005878) (BB)	1
18	OP-0021	101878005878 (BB)	40	001829003053 (D)	Flange do Cubo	OC-82 (101878005878) (BB)	1
19	OP-0021	101878005878 (BB)	45	001843086001 (D)	PA - Disco de Retenção	OC-54 (101878005878) (BB)	1
20	OP-0021	101878005878 (BB)	45	001868001566 (D) M	SJ Amortecimento Torcional (sem montagem)	OC-52 (101878005878) (BB)	1

Tabela 51 – Dados Conjunto Disco MF190 (NVTB) (*Bill of Material* (BOM)) e (*Bill of Process* (BOP)).

Item	Ordem de Produção → Item	Operação	Componente	Descrição do Componente	Ordem de Requisição	Quantidade	
21	OP-0021	101878005878 (BB)	45	001810000222 (D)	Pino Distanciador	OC-63 (101878005878) (BB)	4
22	OP-0021	101878005878 (BB)	45	009843380000SF (D)	Disco de Retenção	OC-73 (101878005878) (BB)	1
23	OP-0021	101878005878 (BB)	45	009819279900 (D)	Disco Intermediário	OC-55 (101878005878) (BB)	1
24	OP-0021	101878005878 (BB)	45	001831575000 (D)	Pastilha de Atrito	OC-60 (101878005878) (BB)	4
25	OP-0021	101878005878 (BB)	45	001842671000 (D)	Disco Cubo	OC-62 (101878005878) (BB)	1
26	OP-0021	101878005878 (BB)	45	001831625000 (D)	Anel de Rolamento	OC-71 (101878005878) (BB)	1
27	OP-0021	101878005878 (BB)	45	001831075000 (D)	Disco Distanciador	OC-77 (101878005878) (BB)	1
28	OP-0021	101878005878 (BB)	45	001810236200 (D)	Peso de Balanceamento	OC-79 (101878005878) (BB)	1
29	OP-0021	101878005878 (BB)	45	001898000124 (D)	Diretriz de Tolerância da Rigidez	OC-80 (101878005878) (BB)	1
30	OP-0021	101878005878 (BB)	45	009810065000 (D)	Rebite de Balanceamento 5,8 x 7,5	OC-84 (101878005878) (BB)	1
31	OP-0021	101878005878 (BB)	45	001827035100 (D)	Mola Prato	OC-85 (101878005878) (BB)	1
Usinagem do Cubo ABW 924 (001829003847 - Peça Bruto)							
Item	Ordem de Produção → Item	Operação	Componente	Descrição do Componente	Ordem de Requisição	Quantidade	
32	OC-61	001829002133 (D)	10	001829003847 (D)	Cubo ABW 924 (001829003847 - Peça Bruto)	OC-61 (101878005878) (BB)	1
33	OP-0021	101878005878 (BB)	45	001829002133 (D)	Cubo ABW 924	OP-0021	1

Tabela 52 – Dados Conjunto Disco MF190 (NVTB) (*Bill of Material* (BOM)) e (*Bill of Process* (BOP)).

O tópico seguinte trata da descrição do procedimento de programação da produção proposto, aplicado através do *software* de programação da produção Preactor.

5.7 PROCEDIMENTO DE PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO

As Figuras de 56 a 67 apresentam como o *link*, entre as solicitações de cada componente da *Bill of Material* (BOM), de cada produto a ser fabricado, tratados no procedimento de programação da produção, foi criado no *software*, com base no conceito do *Lead Time Offsetting*, descrito e considerado conceitualmente no modelo matemático proposto e aplicado no procedimento.

Significa que ao inserirmos os roteiros de fabricação, em que cada operação faz uso de determinado recurso de fabricação, contido nas células de manufatura, o roteiro respeita a necessidade do fornecimento de componentes, contido no *link* da BOM, processados ou fornecidos por uma operação anterior e direciona o respectivo item, após processado na operação vigente, para a operação seguinte, o qual deve ser processado logo em sequência, respeitando tanto a ordem definida no roteiro, ou *Bill of Process* (BOP), e o respectivo *link* definido na *Bill of Material* (BOM). Contudo, devido ao agrupamento das máquinas nas células de manufatura e do fluxo de produção definido nos roteiros, foi adotado pelo autor do trabalho, a divisão dos roteiros em dois subgrupos:

- 1) Operações a serem executadas entre 10 e 20, no caso do Platô;
- 2) Operações a serem executadas a partir da operação 30 a 80 de cada roteiro, no caso do Platô;
- 3) Operação 10, no caso do Disco;
- 4) Operações a serem executadas a partir da operação 20 a 90 de cada roteiro, no caso do Disco.

Tal divisão visa avaliar o impacto do tamanho do lote na ocupação dos recursos durante o processamento nas células de manufatura, como exposto na descrição do modelo matemático tratado neste trabalho, que tem como premissa o controle do *Lead Time Offsetting*, considerando a necessidade do sincronismo no fluxo de produção, de modo a garantir um melhor aproveitamento do uso dos recursos.

A ideia é definir um tamanho de lote ideal a ser considerado nas ordens de produção, sem onerar o estoque em processo e o estoque na área de abastecimento, ou seja, trata-se de uma contrapartida de cada cenário avaliado a fim de evitar aumento dos níveis de inventário, e de ociosidade dos equipamentos, devido à falta de sincronismo

entre as células de manufatura e, conseqüentemente, entre as linhas de montagem dos KITS no final.

Figura 56 – Estrutura geral de materiais dos componentes. Fonte: próprio autor.

Figura 57 – Estrutura de materiais dos componentes. Fonte: próprio autor.

Figura 58 – Estrutura de materiais dos componentes. Fonte: próprio autor.

Figura 59 – Estrutura de materiais dos componentes. Fonte: próprio autor.

Figura 60 – Estrutura de materiais dos componentes. Fonte: próprio autor.

Figura 61 – Estrutura de materiais dos componentes. Fonte: próprio autor.

Figura 62 – Estrutura de materiais dos componentes. Fonte: próprio autor.

Figura 63 – Estrutura de materiais dos componentes. Fonte: próprio autor.

Figura 64 – Estrutura de materiais dos componentes. Fonte: próprio autor.

Figura 65 – Estrutura de materiais dos componentes. Fonte: próprio autor.

Figura 66 – Estrutura de materiais dos componentes. Fonte: próprio autor.

Figura 67 – Estrutura de materiais dos componentes. Fonte: próprio autor.

O procedimento de programação da produção foi testado, preliminarmente, a partir do uso de três regras APS de programação da produção, assim como com três condições de tamanho do lote, de acordo com a Tabela 53.

Modelo	Tamanho do lote	Operações	Regras
Cenário 1	4000	10 e 20 (Platô) 10 (Disco)	Para Frente Prioridade Reversa Para Frente por Ponderação Carregamento em Paralelo
	4000	30 a 80 (Platô) 20 a 90 (Disco)	
Cenário 2	4000	10 e 20 (Platô) 10 (Disco)	Para Frente Prioridade Reversa Para Frente por Ponderação Carregamento em Paralelo
	2000	30 a 80 (Platô) 20 a 90 (Disco)	
Cenário 3	2000	10 e 20 (Platô) 10 (Disco)	Para Frente Prioridade Reversa Para Frente por Ponderação Carregamento em Paralelo
	2000	30 a 80 (Platô) 20 a 90 (Disco)	

Tabela 53 – Descrição dos modelos e alteração do parâmetro tamanho do lote.

As Figuras 68 e 69 são, respectivamente, a relação das ordens de produção e os respectivos roteiros de fabricação, além do gráfico de *Gantt*, com o plano de produção para o tamanho de lote equivalente a 4000 unidades por ordem.

A Tabela 54 indica o turno de trabalho das células de manufatura, de acordo com a jornada de trabalho da empresa objeto de estudo.

Status do Turno (Estado)	Início	Fim	Duração
<i>On Shift</i>	06:10	10:00	+ 03:50
<i>Off Shift</i>	10:00	10:10	– 00:10
<i>On Shift</i>	10:10	11:30	+ 01:20
<i>Off Shift</i>	11:30	12:30	– 01:00
<i>On Shift</i>	12:30	14:25	+ 01:55
<i>On Shift</i>	14:25	18:00	+ 03:35
<i>Off Shift</i>	18:00	18:10	– 00:10
<i>On Shift</i>	18:10	19:30	+ 01:20
<i>On Shift</i>	19:30	20:30	+ 01:00
<i>On Shift</i>	20:30	22:40	+ 02:10
Total de horas (<i>On Shift</i>)			15:10 horas ≈ 15,16 horas

Tabela 54 – Turno de Trabalho por dia.

Os resultados obtidos encontram-se descritos e analisados no tópico de resultados detalhados, apresentados no tópico 6.

Sequenciador do Preactor : Schedule

Arquivo Editar Visualizar Sequenciar Ferramentas Janela Ajuda

Editor : Registro 1 de 210

Referência ZF Sachs (ZF)	Referência After-Market (AM)	ID Plan	Data de Entrega <=	Prioridade	Quantidade	No. Op.	Operação	Progresso da Operação
Tudo	Tudo	Tudo	Tudo	Tudo				Tudo
6614	3000 990 269:009	PLATKITL	Não especificado	1	4000	30	Montagem	Não Iniciado
					4000	40	Balanceamento	Não Iniciado
					4000	50	Regular mola membrana	Não Iniciado
					4000	60	Medir carga	Não Iniciado
					4000	70	Gravar de identificação a laser e oleamento do conjunto	Não Iniciado
					4000	80	Inspeção final, e embalagem (Montagem de Kit)	Não Iniciado
6614	3000 990 269:009	PLATKITL	Não especificado	2	4000	30	Montagem	Não Iniciado
					4000	40	Balanceamento	Não Iniciado
					4000	50	Regular mola membrana	Não Iniciado
					4000	60	Medir carga	Não Iniciado
					4000	70	Gravar de identificação a laser e oleamento do conjunto	Não Iniciado
					4000	80	Inspeção final, e embalagem (Montagem de Kit)	Não Iniciado
6614	3000 990 269:009	PLATKITL	Não especificado	3	4000	30	Montagem	Não Iniciado
					4000	40	Balanceamento	Não Iniciado
					4000	50	Regular mola membrana	Não Iniciado
					4000	60	Medir carga	Não Iniciado
					4000	70	Gravar de identificação a laser e oleamento do conjunto	Não Iniciado
					4000	80	Inspeção final, e embalagem (Montagem de Kit)	Não Iniciado
6614	3000 990 269:009	PLATKITL	Não especificado	4	4000	30	Montagem	Não Iniciado
					4000	40	Balanceamento	Não Iniciado
					4000	50	Regular mola membrana	Não Iniciado
					4000	60	Medir carga	Não Iniciado
					4000	70	Gravar de identificação a laser e oleamento do conjunto	Não Iniciado
					4000	80	Inspeção final, e embalagem (Montagem de Kit)	Não Iniciado
6614	3000 990 269:009	PLATKITL	Não especificado	5	4000	30	Montagem	Não Iniciado
					4000	40	Balanceamento	Não Iniciado
					4000	50	Regular mola membrana	Não Iniciado
					4000	60	Medir carga	Não Iniciado
					4000	70	Gravar de identificação a laser e oleamento do conjunto	Não Iniciado
					4000	80	Inspeção final, e embalagem (Montagem de Kit)	Não Iniciado
9014	3000 951 294:009	PLATKITL	Não especificado	6	4000	30	Montagem	Não Iniciado
					4000	40	Balanceamento	Não Iniciado
					4000	50	Regular mola membrana	Não Iniciado

Visão Geral

Operações Não Programadas - 210 Operações

Pronto

Área de Trabalho

POR 09:38
PTB2 04/10/2017

Figura 68 – Relação das ordens de produção e os respectivos roteiros de fabricação. Fonte: próprio autor.

Figura 69 – Gráfico de Gantt da Programação gerada. Fonte: próprio autor.

6 RESULTADOS

Na seção anterior deste trabalho foi apresentada a descrição de um procedimento de programação da produção, baseado em um modelo matemático proposto para o controle do *Lead Time Offsetting*, a ser implementado em um *software* de planejamento avançado da produção (APS), deste modo, os resultados alcançados encontram-se descritos a partir da Tabela 55.

	Cenário 1			Cenário 2			Cenário 3		
	Min.	Méd.	Máx.	Min.	Méd.	Máx.	Min.	Méd.	Máx.
Tempo produtivo (%)	37,61	75,32	100	37,43	59,95	100	23,27	53,33	100
Utilização real (%)	0,00	53,57	82,8	0,00	49,04	75,81	0,00	48,51	74,98
<i>Setup</i>	3 horas e 26 min.			3 horas e 26 min.			3 horas e 26 min.		
<i>Makespan</i>	30 dias 08:05			32 dias 13:04			33 dias 01:16		
Tamanho de lote (un.)	4000/4000			4000/2000			2000/2000		

Tabela 55 – Resultados dos cenários. Regra: Para Frente Prioridade Reversa.

A linha de montagem OEM KIT *Assembly* (L1) não foi utilizada para gerar os cenários, apenas a linha de montagem AM KIT *Assembly* (L2) foi considerada disponível.

De acordo com os dados, a regra de sequenciamento Para Frente por Prioridade Reversa, adotada aqui, trata de sequenciar, em um primeiro plano, as ordens com o maior número de prioridade atribuída no modelo, ou seja, as ordens de menor prioridade.

Neste caso, além de executar em primeiro lugar ordens de menor prioridade, o *makespan* do pacote de ordens é maior do que a regra de sequenciamento para frente por ponderação.

Cabe destacar, que o procedimento segue apenas com a alocação das ordens de produção a partir do critério de prioridade reversa, independentemente da ocorrência de

outras variáveis que possam impactar o desempenho da programação da produção, no caso, a seleção das ordens a serem executadas primeiramente requer apenas a definição do índice de prioridade.

As Tabelas de 56 a 58 apresentam a ocupação dos recursos produtivos, em cada um dos três cenários analisados, de forma mais detalhada, dada a regra de programação vigente.

	09/01/2000	16/01/2000	23/01/2000	30/01/2000	06/02/2000	13/02/2000
AM KIT Assembly (L2)	0 (0%)	0 (0%)	42,5 (49,4%)	59,1 (68,8%)	40,1 (46,6%)	0 (0%)
OEM KIT Assembly (L1)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Oleamento (PPUM5)	83 (96,5%)	86 (100%)	86 (100%)	46,6 (54,1%)	0 (0%)	0 (0%)
Estação de Montagem PKW (PPUM5)	65 (75,5%)	73,9 (85,9%)	73,9 (85,9%)	42,5 (49,5%)	0 (0%)	0 (0%)
Balanceadora (PPUM5)	71,6 (83,2%)	74,9 (87,1%)	74,9 (87,1%)	43,2 (50,3%)	0 (0%)	0 (0%)
Reguladora (PPUM5)	71,8 (83,5%)	75,3 (87,5%)	75,3 (87,5%)	43,5 (50,5%)	0 (0%)	0 (0%)
SAX (PPUM5)	73 (84,9%)	86 (100%)	86 (100%)	70,7 (82,2%)	0 (0%)	0 (0%)
Laser (PPUM5)	54,4 (63,2%)	72,4 (84,2%)	68,5 (79,7%)	58,3 (67,7%)	0 (0%)	0 (0%)
Inspeção Visual (PPUM5)	43,3 (50,3%)	64,9 (75,5%)	57,4 (66,7%)	50,8 (59,1%)	0 (0%)	0 (0%)
Hessap (Usinagem) (DPM4) E	83,2 (96,7%)	86 (100%)	86 (100%)	54 (62,8%)	0 (0%)	0 (0%)
Montagem Pré Amortecimento (DPM4) E	83,2 (96,7%)	86 (100%)	86 (100%)	18,6 (21,6%)	0 (0%)	0 (0%)
Rebitadeira Disco de Torção (DPM4) (POLLUX(G))	83,2 (96,7%)	86 (100%)	86 (100%)	16,9 (19,7%)	0 (0%)	0 (0%)
Rebitadeira Guarnições (DPM4) (SAX)	53,5 (62,2%)	53,5 (62,2%)	54,4 (63,3%)	16,9 (19,7%)	0 (0%)	0 (0%)
Montagem Conjunto Torcional (DPM4) Mesa 1	57,3 (66,7%)	57,3 (66,7%)	58,2 (67,7%)	18,2 (21,2%)	0 (0%)	0 (0%)
Montagem Conjunto Torcional (DPM4) Mesa 2	0 (0%)	4,1 (4,7%)	65 (75,6%)	85,5 (99,4%)	29,4 (34,1%)	0 (0%)
Prensa (DPM4)	0 (0%)	0 (0%)	39,1 (45,5%)	69,3 (80,6%)	22 (25,5%)	0 (0%)
Hessap (Usinagem) (PPUM5) E	83,2 (96,7%)	68,5 (79,7%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Okuma (Usinagem) (PPUM5) E	83,2 (96,7%)	68,5 (79,7%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)

Furadeira (PPUM5)	83 (96,5%)	86 (100%)	86 (100%)	46,5 (54,1%)	0 (0%)	0 (0%)
Balanceadora (DPM4) & (DPM3)	0 (0%)	0 (0%)	39,1 (45,5%)	69,3 (80,6%)	22 (25,5%)	0 (0%)
Medição (DPM4)	0 (0%)	0 (0%)	39,1 (45,5%)	78,5 (91,2%)	33,3 (38,7%)	0 (0%)
Laser (DPM4)	0 (0%)	0 (0%)	39,1 (45,5%)	58 (67,5%)	33,3 (38,7%)	0 (0%)
Inspeção Visual (DPM4)	0 (0%)	0 (0%)	39,1 (45,5%)	58 (67,5%)	33,3 (38,7%)	0 (0%)

Tabela 56 – Utilização dos Recursos no Cenário 1. Regra: Para Frente Prioridade Reversa.

	09/01/2000	16/01/2000	23/01/2000	30/01/2000	06/02/2000	13/02/2000
AM KIT Assembly (L2)	0 (0%)	0 (0%)	16,6 (19,3%)	52,5 (61,1%)	72,7 (84,5%)	0 (0%)
OEM KIT Assembly (L1)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Oleamento (PPUM5)	83 (96,5%)	86 (100%)	86 (100%)	46,6 (54,1%)	0 (0%)	0 (0%)
Estação de Montagem PKW (PPUM5)	51,9 (60,3%)	73,9 (85,9%)	64,2 (74,6%)	52,2 (60,8%)	0 (0%)	0 (0%)
Balanceadora (PPUM5)	49,1 (57,1%)	74,9 (87,1%)	86 (100%)	67,7 (78,7%)	0 (0%)	0 (0%)
Reguladora (PPUM5)	36 (41,9%)	75,3 (87,5%)	73,1 (84,9%)	81,1 (94,3%)	0,4 (0,5%)	0 (0%)
SAX (PPUM5)	26,3 (30,5%)	86 (100%)	83,7 (97,3%)	86 (100%)	33,7 (39,2%)	0 (0%)
Laser (PPUM5)	7,4 (8,6%)	68,7 (79,9%)	70 (81,3%)	67,4 (78,3%)	40,2 (46,7%)	0 (0%)
Inspeção Visual (PPUM5)	0 (0%)	59 (68,6%)	53,9 (62,7%)	60,2 (70%)	43,3 (50,3%)	0 (0%)
Hessap (Usinagem) (DPM4) E	83,2 (96,7%)	86 (100%)	86 (100%)	54 (62,8%)	0 (0%)	0 (0%)
Montagem Pré Amortecimento (DPM4) E	83,2 (96,7%)	86 (100%)	86 (100%)	18,6 (21,6%)	0 (0%)	0 (0%)
Rebitadeira Disco de Torção (DPM4) (POLLUX(G))	83,2 (96,7%)	86 (100%)	86 (100%)	16,9 (19,7%)	0 (0%)	0 (0%)
Rebitadeira Guarnições (DPM4) (SAX)	46,1 (53,6%)	57,9 (67,3%)	56,5 (65,7%)	17,8 (20,7%)	0 (0%)	0 (0%)
Montagem Conjunto Torcional (DPM4) Mesa 1	39,8 (46,2%)	61,7 (71,8%)	61,7 (71,8%)	28 (32,5%)	0 (0%)	0 (0%)
Montagem Conjunto Torcional (DPM4) Mesa 2	0 (0%)	0 (0%)	79,3 (92,2%)	85,5 (99,4%)	19,1 (22,3%)	0 (0%)
Prensa (DPM4)	0 (0%)	0 (0%)	43,2 (50,2%)	68,9 (80,1%)	18,3 (21,2%)	0 (0%)
Hessap (Usinagem) (PPUM5) E	83,2 (96,7%)	68,5 (79,7%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)

Okuma (Usinagem) (PPUM5) E	83,2 (96,7%)	68,5 (79,7%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Furadeira (PPUM5)	83 (96,5%)	86 (100%)	86 (100%)	46,5 (54,1%)	0 (0%)	0 (0%)
Balanceadora (DPM4) & (DPM3)	0 (0%)	0 (0%)	39,1 (45,5%)	60,8 (70,7%)	30,4 (35,4%)	0 (0%)
Medição (DPM4)	0 (0%)	0 (0%)	35 (40,7%)	72,3 (84,1%)	43,5 (50,6%)	0 (0%)
Laser (DPM4)	0 (0%)	0 (0%)	28,5 (33,1%)	45,4 (52,8%)	56,5 (65,7%)	0 (0%)
Inspeção Visual (DPM4)	0 (0%)	0 (0%)	22 (25,5%)	45,4 (52,8%)	63 (73,3%)	0 (0%)

Tabela 57 – Utilização dos Recursos no Cenário 2. Regra: Para Frente Prioridade Reversa.

	09/01/2000	16/01/2000	23/01/2000	30/01/2000	06/02/2000	13/02/2000
AM KIT Assembly (L2)	0 (0%)	0 (0%)	12,6 (14,7%)	49,9 (58,1%)	79,2 (92,1%)	0 (0%)
OEM KIT Assembly (L1)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Oleamento (PPUM5)	67,9 (78,9%)	86 (100%)	86 (100%)	61,6 (71,7%)	0 (0%)	0 (0%)
Estação de Montagem PKW (PPUM5)	51,9 (60,3%)	73,9 (85,9%)	75,9 (88,3%)	53,6 (62,3%)	0 (0%)	0 (0%)
Balanceadora (PPUM5)	47,1 (54,8%)	74,9 (87,1%)	74,9 (87,1%)	67,7 (78,7%)	0 (0%)	0 (0%)
Reguladora (PPUM5)	34 (39,5%)	75,3 (87,5%)	76,8 (89,3%)	77,3 (89,9%)	2,4 (2,8%)	0 (0%)
SAX (PPUM5)	21,3 (24,8%)	86 (100%)	86 (100%)	86 (100%)	36,4 (42,3%)	0 (0%)
Laser (PPUM5)	2,4 (2,8%)	73,6 (85,6%)	67,4 (78,3%)	67,4 (78,3%)	42,8 (49,8%)	0 (0%)
Inspeção Visual (PPUM5)	0 (0%)	54 (62,8%)	56,2 (65,4%)	62,9 (73,1%)	43,3 (50,3%)	0 (0%)
Hessap (Usinagem) (DPM4) E	83,2 (96,7%)	86 (100%)	86 (100%)	54 (62,8%)	0 (0%)	0 (0%)
Montagem Pré Amortecimento (DPM4) E	83,2 (96,7%)	86 (100%)	86 (100%)	20,2 (23,4%)	0 (0%)	0 (0%)
Rebitadeira Disco de Torção (DPM4) (POLLUX(G))	83,2 (96,7%)	86 (100%)	86 (100%)	16,9 (19,7%)	0 (0%)	0 (0%)
Rebitadeira Guarnições (DPM4) (SAX)	46,1 (53,6%)	57,9 (67,3%)	56,5 (65,7%)	17,8 (20,7%)	0 (0%)	0 (0%)
Montagem Conjunto Torcional (DPM4) Mesa 1	39,8 (46,2%)	61,7 (71,8%)	61,7 (71,8%)	28 (32,5%)	0 (0%)	0 (0%)
Montagem Conjunto Torcional (DPM4) Mesa 2	0 (0%)	9,3 (10,8%)	59,8 (69,5%)	75,2 (87,5%)	39,6 (46%)	0 (0%)
Prensa (DPM4)	0 (0%)	0 (0%)	39,1 (45,5%)	60 (69,7%)	31,3 (36,4%)	0 (0%)

Hessap (Usinagem) (PPUM5) E	83,2 (96,7%)	69,4 (80,7%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Okuma (Usinagem) (PPUM5) E	83,2 (96,7%)	69,4 (80,7%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Furadeira (PPUM5)	83 (96,5%)	86 (100%)	86 (100%)	46,5 (54,1%)	0 (0%)	0 (0%)
Balanceadora (DPM4) & (DPM3)	0 (0%)	0 (0%)	33,9 (39,4%)	58,7 (68,3%)	37,8 (44%)	0 (0%)
Medição (DPM4)	0 (0%)	0 (0%)	28,6 (33,3%)	75,9 (88,3%)	46,3 (53,8%)	0 (0%)
Laser (DPM4)	0 (0%)	0 (0%)	26,1 (30,3%)	45 (52,3%)	59,3 (69%)	0 (0%)
Inspeção Visual (DPM4)	0 (0%)	0 (0%)	26,1 (30,3%)	38,5 (44,7%)	65,9 (76,6%)	0 (0%)

Tabela 58 – Utilização dos Recursos no Cenário 3. Regra: Para Frente Prioridade Reversa.

A regra para frente por ponderação considera o índice de prioridade no procedimento de sequenciamento das ordens de produção, ou seja, considera o IPI dos lotes a serem fabricados de acordo com o seu dimensionamento. IPI – Índice de Prioridade: os lotes serão processados de acordo com o valor da prioridade atribuída ao cliente, ou ao produto, neste trabalho a atribuição foi por produto.

Neste caso, é possível notar uma maior uniformidade na ocupação dos recursos de manufatura ao longo das semanas de trabalho, indicadas no plano de produção. Os recursos identificados como os mais exigidos ao longo do fluxo de produção: Oleamento (PPUM5); Estação de Montagem PKW (PPUM5); Balanceadora (PPUM5); Reguladora (PPUM5); SAX (PPUM5); Laser (PPUM5) e Inspeção Visual (PPUM5) apresentam uma maior regularidade e uniformidade no índice de ocupação, com o uso da regra de sequenciamento para frente por ponderação, do que as demais, apresentando assim, o melhor resultado considerando o maior tamanho do lote, segundo consta na Tabela 59.

	Cenário 1			Cenário 2			Cenário 3		
	Min.	Méd.	Máx.	Min.	Méd.	Máx.	Min.	Méd.	Máx.
Tempo produtivo	37,61%	85,11%	100,00%	37,61%	66,71%	100,00	23,27%	60,86%	100,00%
Utilização real (%)	0,00%	63,83%	98,67%	0,00%	50,66%	78,30%	0,00%	50,87%	78,63%
<i>Setup</i>	3 horas e 26 min.			3 horas e 26 min.			3 horas e 26 min.		
<i>Makespan</i>	25 dias 01:26			31 dias 22:29			31 dias 13:16		
Tamanho de lote (un.)	4000/4000			4000/2000			2000/2000		

Tabela 59 – Resultados dos cenários. Regra: Para Frente **Para Frente por Ponderação.**

A proposta, contudo, não é definir um tamanho do lote para o produto, e sim para a família de produtos a qual determinado produto pertence, ou seja, para uma demanda prevista de 4000 unidades, por ordem de fabricação, em um total de 10 ordens de produção, totalizando 40000 unidades por mês. Com esta estratégia a empresa consegue superior a capacidade média das células calculada para um total de produção mensal de 37000 unidades mês para a serem entregues em cinco semanas significa que a família de produtos representa em torno de 8,11% $((40000 - 37000) / 37000)$ com o uso do tamanho do lote padrão da família e, portanto, o índice: IPI – Índice de Prioridade: os lotes serão processados de acordo com o valor da prioridade atribuída ao cliente ou ao produto.

As Tabelas de 60 a 62 apresentam a ocupação dos recursos produtivos, em cada um dos três cenários analisados, de forma mais detalhada, dada a regra de programação vigente.

	09/01/2000	16/01/2000	23/01/2000	30/01/2000	06/02/2000	13/02/2000
AM KIT Assembly (L2)	28,3 (33%)	42,5 (49,4%)	40,9 (47,6%)	30 (34,9%)	28,3 (33%)	0 (0%)
OEM KIT Assembly (L1)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Oleamento (PPUM5)	83 (96,5%)	86 (100%)	86 (100%)	46,6 (54,1%)	83 (96,5%)	0 (0%)
Estação de Montagem PKW (PPUM5)	70,9 (82,4%)	73,9 (85,9%)	73,9 (85,9%)	36,6 (42,6%)	70,9 (82,4%)	0 (0%)
Balanceadora (PPUM5)	71,6 (83,2%)	74,9 (87,1%)	74,9 (87,1%)	43,2 (50,3%)	71,6 (83,2%)	0 (0%)
Reguladora (PPUM5)	71,8 (83,5%)	75,3 (87,5%)	75,3 (87,5%)	43,5 (50,5%)	71,8 (83,5%)	0 (0%)
SAX (PPUM5)	78,9 (91,8%)	86 (100%)	86 (100%)	64,7 (75,3%)	78,9 (91,8%)	0 (0%)
Laser (PPUM5)	60,3 (70,1%)	67,4 (78,3%)	73,6 (85,6%)	52,3 (60,9%)	60,3 (70,1%)	0 (0%)
Inspeção Visual (PPUM5)	49,1 (57,1%)	59,1 (68,7%)	63,3 (73,6%)	44,9 (52,2%)	49,1 (57,1%)	0 (0%)
Hessap (Usinagem) (DPM4) E	83,2 (96,7%)	86 (100%)	86 (100%)	54 (62,8%)	83,2 (96,7%)	0 (0%)
Montagem Pré Amortecimento (DPM4) E	83,2 (96,7%)	86 (100%)	86 (100%)	18,6 (21,6%)	83,2 (96,7%)	0 (0%)
Rebitadeira Disco de Torção (DPM4) (POLLUX(G))	83,2 (96,7%)	86 (100%)	86 (100%)	16,9 (19,7%)	83,2 (96,7%)	0 (0%)
Rebitadeira Guarnições (DPM4) (SAX)	53,5 (62,2%)	53,5 (62,2%)	54,4 (63,3%)	16,9 (19,7%)	53,5 (62,2%)	0 (0%)
Montagem Conjunto Torcional (DPM4) Mesa 1	57,3 (66,7%)	57,3 (66,7%)	58,2 (67,7%)	18,2 (21,2%)	57,3 (66,7%)	0 (0%)
Montagem Conjunto Torcional (DPM4) Mesa 2	51,7 (60,1%)	54,5 (63,4%)	57,2 (66,6%)	20,4 (23,8%)	51,7 (60,1%)	0 (0%)
Prensa (DPM4)	29,5 (34,3%)	35,7 (41,5%)	39,1 (45,5%)	26,1 (30,3%)	29,5 (34,3%)	0 (0%)
Hessap (Usinagem) (PPUM5) E	83,2 (96,7%)	68,5 (79,7%)	0 (0%)	0 (0%)	83,2 (96,7%)	0 (0%)
Okuma (Usinagem) (PPUM5) E	83,2 (96,7%)	68,5 (79,7%)	0 (0%)	0 (0%)	83,2 (96,7%)	0 (0%)
Furadeira (PPUM5)	83 (96,5%)	86 (100%)	86 (100%)	46,5 (54,1%)	83 (96,5%)	0 (0%)
Balanceadora (DPM4) & (DPM3)	29,5 (34,3%)	35,7 (41,5%)	39,1 (45,5%)	26,1 (30,3%)	29,5 (34,3%)	0 (0%)
Medição (DPM4)	29,5 (34,3%)	35,7 (41,5%)	39,1 (45,5%)	46,5 (54,1%)	29,5 (34,3%)	0 (0%)
Laser (DPM4)	29,5 (34,3%)	35,7 (41,5%)	39,1 (45,5%)	26,1 (30,3%)	29,5 (34,3%)	0 (0%)
Inspeção Visual (DPM4)	29,5 (34,3%)	35,7 (41,5%)	39,1 (45,5%)	26,1 (30,3%)	29,5 (34,3%)	0 (0%)

Tabela 60 – Utilização dos Recursos no Cenário 1. Regra: Para Frente por Ponderação.

	09/01/2000	16/01/2000	23/01/2000	30/01/2000	06/02/2000	13/02/2000
AM KIT Assembly (L2)	0 (0%)	33,2 (38,6%)	37,6 (43,8%)	42,5 (49,4%)	28,3 (33%)	0 (0%)
OEM KIT Assembly (L1)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Oleamento (PPUM5)	83 (96,5%)	86 (100%)	86 (100%)	46,6 (54,1%)	0 (0%)	0 (0%)
Estação de Montagem PKW (PPUM5)	57,8 (67,2%)	60,9 (70,8%)	77,3 (89,8%)	46,3 (53,9%)	0 (0%)	0 (0%)
Balanceadora (PPUM5)	49,1 (57,1%)	78,6 (91,4%)	84,3 (98%)	65,7 (76,3%)	0 (0%)	0 (0%)
Reguladora (PPUM5)	36 (41,9%)	70,3 (81,8%)	80,2 (93,3%)	78,9 (91,7%)	0,4 (0,4%)	0 (0%)
SAX (PPUM5)	26,3 (30,5%)	86 (100%)	82,3 (95,7%)	86 (100%)	35,1 (40,8%)	0 (0%)
Laser (PPUM5)	7,4 (8,6%)	68,7 (79,9%)	68,5 (79,7%)	67,4 (78,3%)	41,6 (48,4%)	0 (0%)
Inspeção Visual (PPUM5)	0 (0%)	59 (68,6%)	52,5 (61,1%)	61,7 (71,7%)	43,3 (50,3%)	0 (0%)
Hessap (Usinagem) (DPM4) E	83,2 (96,7%)	86 (100%)	86 (100%)	54 (62,8%)	0 (0%)	0 (0%)
Montagem Pré Amortecimento (DPM4) E	83,2 (96,7%)	86 (100%)	86 (100%)	18,6 (21,6%)	0 (0%)	0 (0%)
Rebitadeira Disco de Torção (DPM4) (POLLUX(G))	83,2 (96,7%)	86 (100%)	86 (100%)	16,9 (19,7%)	0 (0%)	0 (0%)
Rebitadeira Guarnições (DPM4) (SAX)	46,1 (53,6%)	57,9 (67,3%)	56,5 (65,7%)	17,8 (20,7%)	0 (0%)	0 (0%)
Montagem Conjunto Torcional (DPM4) Mesa 1	39,8 (46,2%)	61,7 (71,8%)	61,7 (71,8%)	28 (32,5%)	0 (0%)	0 (0%)
Montagem Conjunto Torcional (DPM4) Mesa 2	39,6 (46,1%)	62,6 (72,7%)	58,9 (68,5%)	22,9 (26,6%)	0 (0%)	0 (0%)
Prensa (DPM4)	18,3 (21,3%)	43,5 (50,6%)	33,6 (39,1%)	35 (40,7%)	0 (0%)	0 (0%)
Hessap (Usinagem) (PPUM5) E	83,2 (96,7%)	68,5 (79,7%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Okuma (Usinagem) (PPUM5) E	83,2 (96,7%)	68,5 (79,7%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Furadeira (PPUM5)	83 (96,5%)	86 (100%)	86 (100%)	46,5 (54,1%)	0 (0%)	0 (0%)
Balanceadora (DPM4) & (DPM3)	13 (15,2%)	42,2 (49,1%)	36 (41,9%)	39,1 (45,5%)	0 (0%)	0 (0%)
Medição (DPM4)	13 (15,2%)	39,1 (45,5%)	39,1 (45,5%)	59,6 (69,2%)	0 (0%)	0 (0%)
Laser (DPM4)	12,9 (15%)	39,3 (45,7%)	39,1 (45,5%)	34,8 (40,4%)	4,4 (5,1%)	0 (0%)
Inspeção Visual (DPM4)	6,4 (7,4%)	43,5 (50,6%)	37,3 (43,4%)	32,4 (37,6%)	10,9 (12,7%)	0 (0%)

Tabela 61 – Utilização dos Recursos no Cenário 2. Regra: Para Frente por Ponderação.

	09/01/2000	16/01/2000	23/01/2000	30/01/2000	06/02/2000	13/02/2000
AM KIT Assembly (L2)	0 (0%)	31,2 (36,3%)	39,7 (46,1%)	42,5 (49,4%)	28,3 (33%)	0 (0%)
OEM KIT Assembly (L1)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Oleamento (PPUM5)	67,9 (78,9%)	86 (100%)	86 (100%)	61,6 (71,7%)	0 (0%)	0 (0%)
Estação de Montagem PKW (PPUM5)	57,8 (67,2%)	73,9 (85,9%)	75,9 (88,3%)	47,7 (55,4%)	0 (0%)	0 (0%)
Balanceadora (PPUM5)	47,1 (54,8%)	74,9 (87,1%)	74,9 (87,1%)	67,7 (78,7%)	0 (0%)	0 (0%)
Reguladora (PPUM5)	34 (39,5%)	75,3 (87,5%)	76,8 (89,3%)	74,4 (86,5%)	5,4 (6,2%)	0 (0%)
SAX (PPUM5)	24,3 (28,2%)	86 (100%)	86 (100%)	86 (100%)	33,4 (38,8%)	0 (0%)
Laser (PPUM5)	5,4 (6,2%)	70,7 (82,2%)	70,2 (81,7%)	67,4 (78,3%)	39,9 (46,4%)	0 (0%)
Inspeção Visual (PPUM5)	0 (0%)	57 (66,3%)	56,2 (65,4%)	59,9 (69,7%)	43,3 (50,3%)	0 (0%)
Hessap (Usinagem) (DPM4) E	83,2 (96,7%)	86 (100%)	86 (100%)	54 (62,8%)	0 (0%)	0 (0%)
Montagem Pré Amortecimento (DPM4) E	83,2 (96,7%)	86 (100%)	86 (100%)	20,2 (23,4%)	0 (0%)	0 (0%)
Rebitadeira Disco de Torção (DPM4) (POLLUX(G))	83,2 (96,7%)	86 (100%)	86 (100%)	16,9 (19,7%)	0 (0%)	0 (0%)
Rebitadeira Guarnições (DPM4) (SAX)	46,1 (53,6%)	57,9 (67,3%)	56,5 (65,7%)	17,8 (20,7%)	0 (0%)	0 (0%)
Montagem Conjunto Torcional (DPM4) Mesa 1	39,8 (46,2%)	61,7 (71,8%)	61,7 (71,8%)	28 (32,5%)	0 (0%)	0 (0%)
Montagem Conjunto Torcional (DPM4) Mesa 2	39,6 (46,1%)	62,6 (72,7%)	61,3 (71,3%)	20,4 (23,8%)	0 (0%)	0 (0%)
Prensa (DPM4)	18,3 (21,3%)	43,5 (50,6%)	42,5 (49,5%)	26,1 (30,3%)	0 (0%)	0 (0%)
Hessap (Usinagem) (PPUM5) E	83,2 (96,7%)	69,4 (80,7%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Okuma (Usinagem) (PPUM5) E	83,2 (96,7%)	69,4 (80,7%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Furadeira (PPUM5)	83 (96,5%)	86 (100%)	86 (100%)	46,5 (54,1%)	0 (0%)	0 (0%)
Balanceadora (DPM4) & (DPM3)	13 (15,2%)	42,2 (49,1%)	43,5 (50,6%)	31,7 (36,8%)	0 (0%)	0 (0%)
Medição (DPM4)	13 (15,2%)	39,1 (45,5%)	40,1 (46,6%)	58,6 (68,2%)	0 (0%)	0 (0%)
Laser (DPM4)	12,9 (15%)	39,3 (45,7%)	39,1 (45,5%)	39,1 (45,5%)	0 (0%)	0 (0%)
Inspeção Visual (DPM4)	6,4 (7,4%)	43,5 (50,6%)	41,4 (48,2%)	38,5 (44,7%)	0,7 (0,8%)	0 (0%)

Tabela 62 – Utilização dos Recursos no Cenário 3. Regra: Para Frente por Ponderação.

A regra do carregamento paralelo busca o uso de recursos disponíveis sincronizados, em um mesmo momento quando possível, de modo a manter um preenchimento do tempo disponível, ou da carga de trabalho do recurso de manufatura, o mais uniforme possível em conjunto com recursos similares, os quais podem ser utilizados ao mesmo tempo.

No caso deste trabalho, buscou-se, através do índice de prioridade, manter o mesmo momento de fabricação para os pares: Platô e Disco, em suas respectivas células de manufatura, em função de atender o sincronismo com a montagem final.

A Tabela 63 apresenta os resultados obtidos, em cada um dos três cenários estudados, utilizando a regra de programação Carregamento em Paralelo.

	Cenário 1			Cenário 2			Cenário 3		
	Min.	Méd.	Máx.	Min.	Méd.	Máx.	Min.	Méd.	Máx.
Tempo produtivo (%)	34,64%	71,89%	100,00%	34,64%	58,55%	100,00%	22,09%	53,91%	100,00%
Utilização real (%)	0,00%	51,94%	80,28%	0,00%	45,87%	70,90%	0,00%	46,73%	72,23%
<i>Setup</i>	3 horas e 26 min.			3 horas e 26 min.			3 horas e 26 min.		
<i>Makespan</i>	30 dias 04:51			36 dias 0:04			35 dias 08:10		
Tamanho de lote (un.)	4000/4000			4000/2000			2000/2000		

Tabela 63 – Resultados dos cenários. Regra: Carregamento em Paralelo.

Devido às particularidades do processo de fabricação de cada componente, o resultado foi inferior ao obtido pelas demais regras de programação da produção presentes no *software* especialista APS.

Não há, até este momento, como afirmar que essa regra não possa gerar resultados satisfatórios, devido a este estudo ser considerado preliminar, considerando um número reduzido de cenários.

Cabe, contudo, como as demais regras, considerar para trabalhos futuros a aplicação de algoritmos mais robustos que considerem a dinâmica da variabilidade do tamanho do lote das famílias de produtos, trabalho que pode contribuir para mensurar o impacto do tamanho do lote e dimensioná-lo dentro dos níveis que o sincronismo, e a uniformidade do nível de ocupação dos recursos de manufatura, possam ser elevados a um ponto de garantir uma maior produtividade das células de manufatura envolvidas.

As Tabelas de 64 a 66 apresentam a ocupação dos recursos produtivos, em cada um dos três cenários analisados, de forma mais detalhada, dada a regra de programação vigente.

	09/01/2000	16/01/2000	23/01/2000	30/01/2000	06/02/2000	13/02/2000
AM KIT Assembly (L2)	0 (0%)	39,5 (45,9%)	33,8 (39,3%)	40,1 (46,6%)	28,3 (33%)	0 (0%)
OEM KIT Assembly (L1)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Oleamento (PPUM5)	62,3 (72,4%)	86 (100%)	86 (100%)	67,2 (78,2%)	0 (0%)	0 (0%)
Estação de Montagem PKW (PPUM5)	45,3 (52,7%)	73,9 (85,9%)	73,9 (85,9%)	62,1 (72,3%)	0 (0%)	0 (0%)
Balanceadora (PPUM5)	37 (43,1%)	74,9 (87,1%)	74,9 (87,1%)	77,8 (90,4%)	0 (0%)	0 (0%)
Reguladora (PPUM5)	28,2 (32,8%)	78,1 (90,8%)	76 (88,4%)	77,3 (89,9%)	6,2 (7,2%)	0 (0%)
SAX (PPUM5)	26 (30,3%)	86 (100%)	86 (100%)	86 (100%)	31,6 (36,8%)	0 (0%)
Laser (PPUM5)	11,2 (13%)	67,4 (78,3%)	73,6 (85,5%)	67,4 (78,4%)	34 (39,6%)	0 (0%)
Inspeção Visual (PPUM5)	0,1 (0,1%)	64,8 (75,4%)	57,6 (67%)	56,2 (65,4%)	37,7 (43,8%)	0 (0%)
Hessap (Usinagem) (DPM4) E	83,2 (96,7%)	86 (100%)	86 (100%)	54 (62,8%)	0 (0%)	0 (0%)
Montagem Pré Amortecimento (DPM4) E	83,2 (96,7%)	86 (100%)	86 (100%)	18,6 (21,6%)	0 (0%)	0 (0%)
Rebitadeira Disco de Torção (DPM4) (POLLUX(G))	83,2 (96,7%)	86 (100%)	86 (100%)	16,9 (19,7%)	0 (0%)	0 (0%)
Rebitadeira Guarnições (DPM4) (SAX)	50,6 (58,8%)	56,4 (65,6%)	53,5 (62,2%)	17,8 (20,7%)	0 (0%)	0 (0%)
Montagem Conjunto Torcional (DPM4) Mesa 1	49,6 (57,7%)	61,7 (71,8%)	60,7 (70,6%)	19,1 (22,2%)	0 (0%)	0 (0%)
Montagem Conjunto Torcional (DPM4) Mesa 2	46,6 (54,2%)	55,6 (64,6%)	61,3 (71,3%)	20,4 (23,8%)	0 (0%)	0 (0%)
Prensa (DPM4)	26,1 (30,3%)	39,1 (45,5%)	38,5 (44,8%)	26,7 (31%)	0 (0%)	0 (0%)
Hessap (Usinagem) (PPUM5) E	83,2 (96,7%)	68,5 (79,7%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Okuma (Usinagem) (PPUM5) E	83,2 (96,7%)	68,5 (79,7%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Furadeira (PPUM5)	72,5 (84,4%)	86 (100%)	86 (100%)	57 (66,3%)	0 (0%)	0 (0%)
Balanceadora (DPM4) & (DPM3)	26,1 (30,3%)	39,1 (45,5%)	35,3 (41%)	29,9 (34,8%)	0 (0%)	0 (0%)
Medição (DPM4)	26,1 (30,3%)	38,8 (45,1%)	32,4 (37,6%)	53,6 (62,3%)	0 (0%)	0 (0%)
Laser (DPM4)	26,1 (30,3%)	35,5 (41,3%)	32,4 (37,6%)	36,4 (42,4%)	0 (0%)	0 (0%)
Inspeção Visual (DPM4)	24,2 (28,1%)	34,2 (39,7%)	32,9 (38,3%)	39,1 (45,5%)	0 (0%)	0 (0%)

Tabela 64 – Utilização dos Recursos no Cenário 1. Regra: Carregamento em Paralelo.

	09/01/2000	16/01/2000	23/01/2000	30/01/2000	06/02/2000	13/02/2000
AM KIT Assembly (L2)	0 (0%)	14,2 (16,5%)	41,9 (48,7%)	33,8 (39,3%)	37,7 (43,9%)	14,2 (16,5%)
OEM KIT Assembly (L1)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Oleamento (PPUM5)	62,3 (72,4%)	86 (100%)	86 (100%)	67,2 (78,2%)	0 (0%)	0 (0%)
Estação de Montagem PKW (PPUM5)	36,7 (42,7%)	73,9 (85,9%)	60,9 (70,8%)	70,8 (82,3%)	0 (0%)	0 (0%)
Balanceadora (PPUM5)	23,4 (27,2%)	74,9 (87,1%)	74,9 (87,1%)	78,6 (91,4%)	12,8 (14,9%)	0 (0%)
Reguladora (PPUM5)	5,7 (6,6%)	75,3 (87,5%)	78,5 (91,3%)	75,6 (87,9%)	30,7 (35,7%)	0 (0%)
SAX (PPUM5)	0 (0%)	75,5 (87,8%)	86 (100%)	86 (100%)	68,2 (79,3%)	0 (0%)
Laser (PPUM5)	0 (0%)	46,1 (53,6%)	67,4 (78,3%)	67,4 (78,3%)	72,7 (84,6%)	0 (0%)
Inspeção Visual (PPUM5)	0 (0%)	27,8 (32,3%)	71,9 (83,6%)	60 (69,7%)	56,2 (65,4%)	13,7 (15,9%)
Hessap (Usinagem) (DPM4) E	83,2 (96,7%)	86 (100%)	86 (100%)	54 (62,8%)	0 (0%)	0 (0%)
Montagem Pré Amortecimento (DPM4) E	83,2 (96,7%)	86 (100%)	86 (100%)	18,6 (21,6%)	0 (0%)	0 (0%)
Rebitadeira Disco de Torção (DPM4) (POLLUX(G))	83,2 (96,7%)	86 (100%)	86 (100%)	16,9 (19,7%)	0 (0%)	0 (0%)
Rebitadeira Guarnições (DPM4) (SAX)	43,9 (51%)	57,9 (67,3%)	57,9 (67,3%)	18,7 (21,8%)	0 (0%)	0 (0%)
Montagem Conjunto Torcional (DPM4) Mesa 1	38,2 (44,5%)	59,3 (68,9%)	61,7 (71,8%)	31,9 (37,2%)	0 (0%)	0 (0%)
Montagem Conjunto Torcional (DPM4) Mesa 2	33,7 (39,2%)	65,7 (76,4%)	59,1 (68,7%)	25,4 (29,6%)	0 (0%)	0 (0%)
Prensa (DPM4)	13 (15,2%)	41,2 (48%)	37 (43%)	39,1 (45,5%)	0 (0%)	0 (0%)
Hessap (Usinagem) (PPUM5) E	83,2 (96,7%)	68,5 (79,7%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Okuma (Usinagem) (PPUM5) E	83,2 (96,7%)	68,5 (79,7%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Furadeira (PPUM5)	72,5 (84,4%)	86 (100%)	86 (100%)	57 (66,3%)	0 (0%)	0 (0%)
Balanceadora (DPM4) & (DPM3)	13 (15,2%)	39,1 (45,5%)	39,1 (45,5%)	39,1 (45,5%)	0 (0%)	0 (0%)
Medição (DPM4)	8,7 (10,1%)	43,5 (50,6%)	39,1 (45,5%)	54,3 (63,1%)	5,3 (6,1%)	0 (0%)
Laser (DPM4)	0,5 (0,6%)	43,5 (50,6%)	40,6 (47,2%)	32,7 (38,1%)	13 (15,2%)	0 (0%)
Inspeção Visual (DPM4)	0 (0%)	39,1 (45,5%)	39,1 (45,5%)	35,4 (41,2%)	16,7 (19,5%)	0 (0%)

Tabela 65 – Utilização dos Recursos no Cenário 2. Regra: Carregamento em Paralelo.

	09/01/2000	16/01/2000	23/01/2000	30/01/2000	06/02/2000	13/02/2000
AM KIT Assembly (L2)	0 (0%)	14,2 (16,5%)	42,5 (49,4%)	41,4 (48,1%)	33,8 (39,3%)	9,8 (11,4%)
OEM KIT Assembly (L1)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Oleamento (PPUM5)	57,5 (66,8%)	86 (100%)	86 (100%)	72,1 (83,8%)	0 (0%)	0 (0%)
Estação de Montagem PKW (PPUM5)	45 (52,3%)	73,9 (85,9%)	75,9 (88,3%)	60,5 (70,4%)	0 (0%)	0 (0%)
Balanceadora (PPUM5)	27,9 (32,5%)	78 (90,6%)	75,6 (87,9%)	75,9 (88,3%)	7,2 (8,4%)	0 (0%)
Reguladora (PPUM5)	13,9 (16,2%)	75,3 (87,5%)	75,3 (87,5%)	76,3 (88,7%)	25 (29,1%)	0 (0%)
SAX (PPUM5)	0 (0%)	83,7 (97,4%)	86 (100%)	86 (100%)	59,9 (69,7%)	0 (0%)
Laser (PPUM5)	0 (0%)	50,7 (59%)	71 (82,5%)	67,4 (78,3%)	64,5 (75%)	0 (0%)
Inspeção Visual (PPUM5)	0 (0%)	32,4 (37,7%)	56,2 (65,4%)	62,9 (73,1%)	59,5 (69,2%)	5,4 (6,3%)
Hessap (Usinagem) (DPM4) E	83,2 (96,7%)	86 (100%)	86 (100%)	54 (62,8%)	0 (0%)	0 (0%)
Montagem Pré Amortecimento (DPM4) E	83,2 (96,7%)	86 (100%)	86 (100%)	20,2 (23,4%)	0 (0%)	0 (0%)
Rebitadeira Disco de Torção (DPM4) (POLLUX(G))	83,2 (96,7%)	86 (100%)	86 (100%)	16,9 (19,7%)	0 (0%)	0 (0%)
Rebitadeira Guarnições (DPM4) (SAX)	43,9 (51%)	57,9 (67,3%)	57,9 (67,3%)	18,7 (21,8%)	0 (0%)	0 (0%)
Montagem Conjunto Torcional (DPM4) Mesa 1	38,2 (44,5%)	59,3 (68,9%)	61,7 (71,8%)	31,9 (37,2%)	0 (0%)	0 (0%)
Montagem Conjunto Torcional (DPM4) Mesa 2	33,7 (39,2%)	65,7 (76,4%)	64,1 (74,5%)	20,4 (23,8%)	0 (0%)	0 (0%)
Prensa (DPM4)	13 (15,2%)	41,2 (48%)	43,5 (50,6%)	32,6 (37,9%)	0 (0%)	0 (0%)
Hessap (Usinagem) (PPUM5) E	83,2 (96,7%)	69,4 (80,7%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Okuma (Usinagem) (PPUM5) E	83,2 (96,7%)	69,4 (80,7%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
Furadeira (PPUM5)	77,7 (90,3%)	86 (100%)	86 (100%)	51,9 (60,3%)	0 (0%)	0 (0%)
Balanceadora (DPM4) & (DPM3)	13 (15,2%)	39,1 (45,5%)	39,1 (45,5%)	39,1 (45,5%)	0 (0%)	0 (0%)
Medição (DPM4)	8,7 (10,1%)	43,5 (50,6%)	39,1 (45,5%)	59,6 (69,2%)	0 (0%)	0 (0%)
Laser (DPM4)	0,5 (0,6%)	43,5 (50,6%)	43,5 (50,6%)	39,7 (46,2%)	3,2 (3,7%)	0 (0%)
Inspeção Visual (DPM4)	0 (0%)	39,1 (45,5%)	40,2 (46,8%)	39,7 (46,2%)	11,4 (13,2%)	0 (0%)

Tabela 66 – Utilização dos Recursos no Cenário 3. Regra: Carregamento em Paralelo.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta inicial desta dissertação de mestrado foi a de explorar, a partir das informações coletadas na pesquisa de campo, na empresa objeto do estudo (contando com acesso a documentos técnicos, visitas técnicas no chão de fábrica e reuniões técnicas periódicas com os colaboradores da área de manufatura da empresa), além dos estudos desenvolvidos nas áreas de programação da produção e abastecimento de componentes, as oportunidades e potenciais ganhos que um *software* de planejamento avançado da produção (APS) pode proporcionar em um ambiente industrial, de maneira mais específica, em um conjunto de células produtivas de uma empresa do setor de autopeças brasileiro.

Desse modo, foram consideradas as células de manufatura:

- 1) para a fabricação do Platô PPUM5; e
- 2) para a fabricação do Disco DPM4.

Em contrapartida, o autor apresenta o desenvolvimento de um conjunto de expressões matemáticas, com o propósito de estudar as propriedades matemáticas oriundas do inter-relacionamento de variáveis e parâmetros do processo de fabricação, a partir da *Bill of Material* (BOM) e da *Bill of Process* (BOP) das famílias de produtos, as quais podem ser produzidas nos recursos de manufatura selecionados e estudados a partir da identificação da demanda histórica de cada família de produto.

Cabendo relacionar, a partir dos dados levantados, por meio de um procedimento de cálculo de um tempo de ciclo ponderado, relacionando o tempo de processamento e demanda (com base no tempo de ocupação necessário) o nível de ocupação dos recursos.

Com base nas frentes de trabalho definidas, pode ser construído o procedimento de programação da produção proposto, com a finalidade de mensurar o impacto do tamanho de lote por família de produtos, e não por item individualmente, o que se mostrou possível devido ao nível de padronização dos produtos e, conseqüentemente, dos processos de fabricação.

Tal possibilidade, conforme demonstrado através dos resultados, permite avaliar que é viável a padronização do tamanho de lote de produção por família de produtos, a fim de melhor utilizar os recursos através de um nível de ocupação maior, principalmente dos recursos críticos, tornando-o mais uniforme e mais elevado.

Ademais, é interessante notar o impacto sobre o *makespan* que diferentes regras de sequenciamento de produção podem provocar. O sincronismo na fabricação de componentes, objetivo primordial da empresa objeto de estudo, pode ser atingido, pelo menos parcialmente, ao custo do aumento do *Lead time*, como mostrado na Tabela 63, a partir da aplicação da regra do carregamento paralelo.

Por meio dos cenários desenvolvidos, a partir das propriedades matemáticas contidas no modelo desenvolvido e das regras de programação apresentadas, é possível realizar uma análise prévia dos *trade-offs* que circundam a definição de uma estratégia de programação da produção, de maneira a otimizar parâmetros como *Lead time*, tamanho de lote e o sincronismo da manufatura.

7.1 CONCLUSÕES FINAIS

A rastreabilidade dos componentes da árvore do produto, tanto quanto o fluxo de informação e de materiais sugere que o uso de um *software* APS em um ambiente de manufatura celular contribui sensivelmente para com o sincronismo da produção, devendo ser ressaltado que uma vez sendo viável, e portanto, exequível o cálculo de um tamanho de lote padrão por família de produtos a fim de uniformizar o fluxo de produção, o resultado final do desempenho das células de manufatura deve superar a eficiência nominal do conjunto de máquinas das células de manufatura.

O procedimento de cálculo apresentado através das expressões matemáticas apresentadas permite estudar, com maior fundamentação, as propriedades matemáticas relacionadas, mas não permite otimizar o tamanho de lote quando ao número de itens ideal que o mesmo deve contemplar, cabendo neste caso, novos e aprofundados estudos fundamentados para uma modelagem matemática que priorize tal otimização.

Deve-se ressaltar que o estudo de caso apresentado nesta dissertação compreende um conjunto de apenas duas células de manufatura, assim como suas relações de sincronia com a célula de montagem de KIT's, tratando-se, portando, de um estudo preliminar em que não há a pretensão de uma solução final para a empresa parceira.

Notadamente, há a necessidade de uma infraestrutura adequada, por parte de uma organização interessada em obter os benefícios gerados por um *software* APS, que seja capaz de proporcionar informações precisas e adequadas ao modelo, ou seja, possuir um grau satisfatório de visibilidade dos fluxos de materiais e informações que circulam internamente às células de manufatura, assim como entre as mesmas. Esta necessidade é uma etapa inicial e primordial para o conhecimento, de maneira mais profunda, das relações de manufatura existentes em um ambiente fabril.

7.2 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

É intenção do autor, no âmbito do grupo de pesquisa o qual o seu orientador coordena, avançar no estudo de modelos matemáticos robustos para o cálculo do tamanho de lote ideal para sistemas similares ao estudado neste trabalho, no nível de doutorado, devendo para este propósito realizar uma pesquisa bibliográfica específica para este fim e avançar na compreensão das propriedades matemáticas abordadas e apresentadas neste trabalho até o presente momento.

Além disso, a expansão deste trabalho, contemplando as demais células de manufatura da empresa estudada, pode ser objeto de pesquisas futuras, de maneira a complementar, e até sofisticar, as informações e conhecimentos difundidos nesta dissertação. A criação de novos cenários de manufatura, a partir de distintas regras de sequenciamento de produção e modelos matemáticos, certamente podem contribuir também para o aprimoramento do trabalho aqui realizado.

REFERÊNCIAS

APICS. **APICS Dictionary**. In: JR, J. H. B. (ed.) APICS Dictionary. 12th ed. Chicago: APICS The Association for Operations Management, 2008.

BECKER, C. **State-of-the-art exact and heuristic solution procedures for simple assembly line balancing**. European Journal of Operation Research, v. 168, número 3, p. 666 – 693, 2006.

CHEN, K.; JI, P. **A mixed integer programming model for advanced planning and scheduling (APS)**. European Journal of Operational Research, 181(1), 2007, pp. 515–522.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de produção e operações. Manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. Editora Atlas. São Paulo, 2009.

FLEISCHMANN, B.; MEYR, H. **Planning hierarchy, modeling and advanced planning systems**. Handbooks in Operations Research and Management Science, 2003. 11, pp. 455–523.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de Pesquisa**. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. Editora Atlas. São Paulo, 2010.

GIROTTI, L. J.; MESQUITA, M. A. **Simulação e estudos de caso no ensino de planejamento e controle da produção: um *survey* com professores da engenharia de produção**. Production, 26(1), 2016.

GREEN, F.B. **Managing the unmanageable: integrating the supply chain with new developments in software**, Supply Chain Management: An International Journal 6, 2001, pp. 208–211.

GUPTA, J.; SHARMA, S., RASHID, M. **Handbook of research on enterprise systems**. Hershey, 2009, PA: IGI Global.

HADAYA, P.; PELLERIN, R. **Determinants of advance planning and scheduling systems adoption**. In The third International Conference on Software Engineering Advances. Sliema, 2008.

HARJUNKOSKI, I.; NYSTROM, R.; HORCH, A. **Integration of scheduling and control - Theory or practice?** Computers and Chemical Engineering, 33(12), 2009, pp. 1909–1918.

HOPP, Wallace J.; SPEARMAN, Mark L. **Factory Physics**. McGraw-Hill, 2008.

HVOLBY, H.; STEGER-JENSEN, K. **Technical and industrial issues of Advanced Planning and Scheduling (APS) systems**. Computers in Industry 61, pp.845 – 851, 2010.

JACOBS, F.; WESTON, F.C. **Enterprise resource planning (ERP) - a brief history**, Journal of Operations Management 31, 2007, pp. 357–363.

JONSSON P.; KJELLSDOTTER L.; RUDBERG, M. **Applying advanced planning systems for supply chain planning: three case studies**. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 2007, Vol. 37, Ed. 10 pp. 816 – 834.

KUNG, L.C.; CHERN, C.C. **Heuristic factory planning algorithm for advanced planning and scheduling**. Computers & Operations Research, 36(9), 2009, pp. 2513–2530.

LIKER, J.; CHOI, T. **Building Deeper Supplier Relationships**, Harvard Business Review, December, 2014.

LIKER, J.; HOSEUS, M. **Toyota Culture: The Heart and Soul of The Toyota Way**, McGraw-Hill, New York, 2008.

LÖDDING, H. **Handbook of Manufacturing Control: Fundamentals, description, configuration**. Springer Heidelberg New York Dordrecht London. 2013. Edition (31 August 2011).

MEYR, H.; ROHDE, J.; STADLER, H. **Basics for modelling**. In **Supply Chain Management and Advanced Planning**. 2002, (pp. 45–70). Berlin, Germany, Berlin Heidelberg: Springer.

MEYR, H.; WAGNER, M.; ROHDE, J. **Structure of Advanced Planning Systems**. 2005. In: STADLER, H.; KILGER, C. Supply Chain Management and Advanced Planning: Concepts, Models, Software and Case Studies (3a ed.). Heidelberg: Springer.

NAHMIAS, S. **Production & Operations Analysis**. McGraw-Hill. Irwin. Sixth Edition. 2009.

OTTO, A.; KOTZAB, H. **How supply chain management contributes to the management of supply chains – preliminary thoughts on na unpopular question**. In: LARSSON, E., PAULSSON, U. (Eds.), Building New Bridges in Logistics. Lund University, Lund, 1999, pp. 213-236.

OZTURK, C.; ORNEK, A. M. **Operational extended model formulations for advanced planning and scheduling systems**. Applied Mathematical Modelling, 38 (1), 2014, pp. 181–195.

PINEDO, M. L. **Scheduling: Theory, algorithms, and systems**. 3ª ed. 2008.

ROWE, J. **Digital Factory Within Reach: Modular options mean even SMBs can take advantage of production and manufacturing visualization tools**. Cadalyst Magazine. MCAD Tech News 179, 2006.

SHAOJUN, W.; GANG, W.; MIN, L.; GUOAN, G. **Enterprise resource planning implementation decision & optimization models**. Journal of Systems Engineering and Electronics, 19(3), 2008, pp. 513–521.

SHAPIRO J. **Beyond supply chain optimization to enterprise optimization**, SLIM Technologies, LLC, Ascet Volume 3, April, 2001.

STADLER, H. **Basics of supply chain management**. In: STADLER, H., KILGER, C. (Eds.), Supply Chain Management and Advanced Planning – Concepts, Models, Software and Case Studies, Berlin, 2002, pp. 7-28.

STADLER, H. **Supply chain management and advanced planning: basics, overview and challenges**. European Journal of Operational Research, 163(3), 2005, pp. 575-588.

STAEBLEIN, T.; AOKI, K. **Planning and scheduling in the automotive industry: A comparison of industrial practice at German and Japanese makers**. International Journal of Production Economics. 2014.

SLACK, Nigel et al. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 2006.

SULE D. R. **Industrial Scheduling**. Boston: PWS Pub. Co., 1997

VIDONI, M. C.; VECCHIETTI, A. R. **A systemic approach to define and characterize Advanced Planning Systems (APS)**. Computers & Industrial Engineering, 90, pp. 326-338, 2015.

YIN, R. **Estudo de caso: Planejamento e Métodos**. Editora Bookman. Porto Alegre, 2015.

WAHLERS, T.: **Modellgestiitzte Analyse und Yerbesserung der logistischen Merkmale komplexer Serienprodukte**. YDI Progress Reports, Series 2, No. 475, Diisseldorf, 1998.

WANG, W.; LIU, W. **Study On The Integration Model Of ERP And APS Based On CORBA Static Invocation**. IEEE, 2011.

WYLIE, L. **A vision for the next-generation MRP II**. Scenario, pp. 300–339, Gartner Group, April, 1990.

ZORYK-SCHALLA, A. J.; FRANSOO, J. C.; DE KOK, T. G. **Modeling the planning process in advanced planning systems**. Information & Management, 42(1), 2004, pp. 75–87.