

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
MECÂNICA**

Lívia Barbosa Angelo

**HEURÍSTICA PARA CONFIGURAÇÃO DE MIX EM LINHAS
DE MONTAGEM MIXADAS COM MÃO-DE-OBRA INTENSIVA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Abelardo A. de Queiroz

Florianópolis

2011

**Catálogo na fonte elaborada pela biblioteca da
Universidade Federal de Santa Catarina**

A584h Angelo, Livia Barbosa

Heurística para configuração de mix em linhas de montagem mixadas com mão-de-obra intensiva [dissertação] / Livia Barbosa Angelo ; orientador, Abelardo Alves de Queiroz. - Florianópolis, SC, 2011.

178 p.: il., grafs., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.

Inclui referências

1. Engenharia mecânica. 2. Métodos de linha de montagem - Estudo de casos. 3. Planejamento empresarial. 4. Desempenho. I. Queiroz, Abelardo Alves de. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. III. Título.

CDU 621

Lívia Barbosa Angelo

HEURÍSTICA PARA CONFIGURAÇÃO DE MIX EM LINHAS DE
MONTAGEM MIXADAS COM MÃO-DE-OBRA INTENSIVA

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de
“Mestre”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Mecânica.

Florianópolis, 1 de março de 2011.

Prof. Eduardo Alberto Fancello, D.Sc.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

Prof. Abelardo A. de Queiroz, Ph.D
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. João Carlos Espíndola Ferreira, Ph.D
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Carlos Henrique Ahrens, Dr. Eng.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Fernando Antônio Forcellini, Dr. Eng.
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus familiares,

Meus pais Jorge Luiz Ângelo e Shirley Barbosa Ângelo,
Pelo amor incondicional
e pelo constante estímulo a minha formação pessoal e profissional.

E especialmente ao meu querido irmão Wagner Barbosa Ângelo,
Pela preciosa e inestimável amizade.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Abelardo A. de Queiroz, pelo apoio, paciência, sábio direcionamento e por me apresentar ao mundo da pesquisa científica.

A Alexandre de Paula Aguiar, colega de vida profissional, por seu interesse e relevantes contribuições aos meus estudos.

A empresa na qual trabalho, por ter flexibilizado meus horários e permitido meu acesso a todos os dados necessários para engrandecer esta pesquisa.

Agradeço especialmente ao meu namorado Diogo Kehrig Barbosa pelo seu valioso companheirismo e aos meus amigos de jornada dupla – profissional e acadêmica – Margley Moura e Marcelo Coutinho, pelas incontáveis vezes que enfrentamos a BR-101 sem deixar que o cansaço e as desafiadoras metas da vida profissional nos desmotivassem no objetivo de prosseguir com os estudos acadêmicos.

A theory should be as simple as possible, but no simpler.

(Albert Einstein)

RESUMO

A linha de montagem original foi proposta por Henry Ford em 1913 e até hoje, é considerada uma das maiores inovações tecnológicas da era industrial. Com o passar do tempo e a diversificação dos produtos demandados pelo mercado, as linhas de montagem tradicionais, que produziam apenas um determinado modelo de produto, foram sendo flexibilizadas, dando origem às linhas de montagem mixadas – que produzem diferentes modelos de produtos simultaneamente.

Para as linhas de montagem mixadas, especialmente aquelas que utilizam mão-de-obra intensiva, é consenso que a montagem simultânea de produtos semelhantes é mais eficiente que a montagem de produtos dissemelhantes. Isso se deve a dificuldade de dimensionamento dos recursos e balanceamento dos postos de trabalho, que aumenta quanto mais dissemelhantes forem os produtos que são montados simultaneamente.

Neste trabalho, propõe-se uma heurística para configuração de mix de produção em linhas de montagem mixadas com mão-de-obra intensiva, analisando fatores estratégicos da administração da produção como relação capacidade produtiva x demanda e restrições físicas ou processuais. Esta heurística foi aplicada em um estudo de caso realizado numa empresa montadora de eletrodomésticos. Adicionalmente, o estudo de caso apresenta uma análise comparativa de diferentes abordagens de organização e administração do mesmo sistema de montagem.

A análise combinatória mostra que, para um problema com mais de 45 produtos e 2 linhas de montagem ou 20 produtos e 3 linhas de montagem são muitas as configurações de mix possíveis (no primeiro caso 990 possibilidades e no segundo 1.140). Desse modo, normalmente existe uma discrepância muito grande de eficiência do sistema de montagem de uma solução aleatória qualquer para uma solução melhorada, evidenciando a utilidade da heurística proposta. Além disso, a comparação das diferentes abordagens para o mesmo sistema de montagem direciona a adequação da estratégia de administração da produção em relação ao comportamento da demanda e às variações de mix.

Palavras-chave: Linha de Montagem. Mix de produção. Mão-de-obra intensiva.

ABSTRACT

The assembly line was originally proposed by Henry Ford in 1913 and until today has been considered to be one of the greatest technological innovations of the industrial era. In the course of time and the product diversification demanded by the market, the traditional assembly lines, which used to produce only a particular product, have become more flexible, giving rise to mixed assembly lines – which produce different products simultaneously.

For the mixed assembly lines, especially those requiring intensive labor, it is generally agreed that the simultaneous assembly of similar products is more efficient than the simultaneous assembly of dissimilar products. This is due to the difficulty of planning the resources and balancing the work loads, which increases the more dissimilar that the products assembled together are.

In this paper, a heuristic is proposed for setting the mix on the mixed assembly lines which are labor-intensive, considering strategic factors of production management such as the relationship between capacity and demand and the physical or process constraints. This heuristic was applied in the case study developed in a home appliance maker. Moreover, the case study presents a comparative analysis of different approaches to organization and administration of the same assembly system.

For a problem with over 45 products and 2 assembly lines or 20 products and 3 assembly lines, the combinatorial analysis shows that there are many possible mixes (990 possibilities in the first case and 1.140 in the second). So, very often there is a large discrepancy in the assembly system efficiency between a random solution and an improved solution, highlighting the usefulness of the proposed heuristic. Furthermore, the analysis of different approaches to the same assembly system allows you to adjust the production management strategy concerning market trends and mix variations.

Keywords: Assembly line. Mix configurations. Intensive labor force.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Relação entre tipos de Processo e Tipos Básicos de Arranjo Físico	8
Figura 2: Classificação das Linhas de Montagem em relação a quantidade e seqüenciamento dos modelos de produtos.	12
Figura 3: Esquema de linha de montagem de <i>layout</i> linear.....	13
Figura 4: Esquema de linha de montagem com <i>layout</i> em U.....	14
Figura 5: Esquema de linha de montagem de <i>layout</i> linear com estações de trabalho seqüenciais e paralelas.....	15
Figura 6: Linha de montagem Principal e linhas alimentadoras anexas	15
Figura 7: Diagrama de Precedência.....	21
Figura 8: Classificação dos métodos de formação de células.....	25
Figura 9: Algoritmo padrão dos métodos divisivos.....	27
Figura 10: Sistema de Produção Inicial.....	33
Figura 11: Sistema de Produção em outra versão.....	34
Figura 12: Distribuição dos tempos de processo.	36
Figura 13: Problema de distribuição dos modelos de produtos às linhas de montagem.	41
Figura 14: Problema de distribuição do mix de produtos às linhas de montagem.	42
Figura 15: Sequência de produtos na linha no instante $t= 0$	49
Figura 16: Sequência de produtos na linha no instante $t= t_1$	49
Figura 17: Índice de Utilização do Tempo com base em demandas diferentes.	58
Figura 18: Algoritmo de Definição do Mix de Produtos para Linhas de Montagem Mixadas.....	63
Figura 19: Sistema de montagem modular	68
Figura 20: Esquema simplificado das linhas de montagem de refrigeradores estudadas.	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Propagação da variação estatística nos processos.	37
Tabela 2: Matriz de incidência Operação x Produto.	44
Tabela 3: Tempo das operações (segundos) para cada produto.	45
Tabela 4: Indicadores para a configuração das linhas de montagem mixadas.	51
Tabela 5: Tabela para cálculo da Diferença de Tempo entre produtos.	54
Tabela 6: Matriz com o indicador DT_{i-j}	54
Tabela 7: Tempo necessário para a produção da sequência B-C-D-E-F-A na operação 1.....	55
Tabela 8: Tempos de operação por produto (resumidos da Tabela 3)...	56
Tabela 9: Comparação entre tempo programado e realizado para 2 produtos numa linha de montagem mixada.....	56
Tabela 10: Utilização do tempo para cada produto para o Mix A, B, C, D, E e F.	57
Tabela 11: Produtos-referência selecionados de acordo com o tempo referência.....	66
Tabela 12: Lista das operações comuns para os refrigeradores e <i>freezers</i>	72
Tabela 13: Lista das outras operações.....	74
Tabela 14: Tempos originais das operações de montagem para os produtos de A a W.....	79
Tabela 15: Tempos originais das operações de montagem para os produtos de X a AU.....	83
Tabela 16: Tempos corrigidos para as operações de montagem para os produtos de A a W.....	93
Tabela 17: Tempos corrigidos para as operações de montagem para os produtos de X a AU.....	97
Tabela 18: Restrições de Processo.	99
Tabela 19: Capacidade produtiva das linhas de montagem.....	100
Tabela 20: Os seis produtos-referência selecionados com base na demanda.	102
Tabela 21: Alocação dos Produtos-referência para Abordagem 1.	102
Tabela 22: Indicadores de utilização do algoritmo para Abordagem 1.	103
Tabela 23: Semente aleatória que gerou o pior IUT – Abordagem 1.	106
Tabela 24: Configuração que gerou o melhor IUT – Abordagem 1....	107
Tabela 25: Produtos-referência para a Abordagem 2.	109

Tabela 26: Alocação dos Produtos referência para Abordagem 2.	109
Tabela 27: Indicadores de utilização do algoritmo para Abordagem 2.	110
Tabela 28: Semente aleatória que gerou o pior IUT – Abordagem 2..	113
Tabela 29: Configuração que gerou o melhor IUT – Abordagem 2....	113
Tabela 30: Lista dos produtos-referência para Abordagem 3.	115
Tabela 31: Restrições de processo para a Abordagem 3.	115
Tabela 32: Indicadores de utilização do algoritmo para Abordagem 3.	116
Tabela 33: Semente aleatória que gerou o pior IUT – Abordagem 3..	119
Tabela 34: Configuração que gerou o melhor IUT – Abordagem 3....	119
Tabela 35: Operações a serem executadas na linha de montagem propriamente dita para a Abordagem 4.	123
Tabela 36: Indicadores de utilização do algoritmo para Abordagem 4 – Operações de Montagem.	124
Tabela 37: Semente aleatória que gerou o pior IUT.	128
Tabela 38: Comparativo entre configurações para Abordagem 4 – Operações de Montagem.	129
Tabela 39: Operações da Unidade de Montagem Modular de Gabinetes.	131
Tabela 40: Operações da Unidade de Montagem Modular de Portas.	131
Tabela 41: Indicadores de utilização do algoritmo para Abordagem 4 – Unidades de Montagem Modular.	132
Tabela 42: Configurações que gerou o melhor IUT – Unidade de Montagem Modular de Gabinetes.	134
Tabela 43: Configurações que gerou o melhor IUT – Unidade de Montagem Modular de Portas.	135
Tabela 43: Níveis de semelhança para UMM de Gabinetes e UMM de Portas.	136
Tabela 44: Diferença de Tempo entre produtos para a UMM de Gabinetes e UMM de Portas.	137
Tabela 45: Indicadores de utilização do algoritmo para as 4 abordagens.	138

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Tempos de operação do produto B e variação de tempo típica para o grupo de produtos A, B, C, D, E, F.	47
Gráfico 2: Tempo total de operação e tempos-referência.....	66
Gráfico 3: Percentual da Demanda de cada refrigerador e <i>freezer</i>	98
Gráfico 4: Níveis de semelhança entre produtos.	101
Gráfico 5: Percentual de alocação de cada produto em cada linha de montagem para a Abordagem 1.....	103
Gráfico 6: Melhoria do IUT para a Abordagem 1.	105
Gráfico 7: Tempo total de operação dos produtos e faixas de tempo-referência.	108
Gráfico 8: Percentual de alocação de cada produto em cada linha de montagem para a Abordagem 2.....	110
Gráfico 9: Melhoria do IUT para a Abordagem 2.	112
Gráfico 10: Percentual de alocação de cada produto em cada linha de montagem para a Abordagem 3.....	117
Gráfico 11: Melhoria do IUT para a Abordagem 3.	118
Gráfico 12: Percentual de alocação de cada produto em cada linha de montagem para a Abordagem 4.....	124
Gráfico 13: Melhoria do IUT para a Abordagem 4 – Operações de Montagem.....	127
Gráfico 14: Melhoria do IUT para a Abordagem 4 – Unidade de Montagem Modular de Gabinetes.	133
Gráfico 15: Melhoria do IUT para a Abordagem 4 – Unidade de Montagem Modular de Portas.	133

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DFA	<i>Design for Assembly</i> (Projeto para Montagem)
DT	Diferença de tempo entre produtos;
FR	Fator de Ritmo
IUT	Índice de Utilização do Tempo
LM	Linha de Montagem
MOD	Mão-de-obra direta;
MTM	<i>Methods Time Measurement</i> (Medição do Tempo de Método)
OPT	<i>Optimized Production Technology</i> (Tecnologia de Produção Otimizada)
PFA	<i>Production Flow Analysis</i> (Análise do Fluxo de Produção)
PU	Poliuretano
STP	Sistema Toyota de Produção
T	Tempo total de operação
TC	Tempo de ciclo
TN	Tempo Normal
TO	Tempo Observado
TP	Tempo Padrão
TOC	<i>Theory of Constraints</i> (Teoria das Restrições)
UAS	<i>Universelles Analysiersystem</i> (Sistema de Análise Universal)
UMM	Unidade de Montagem Modular

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	MOTIVAÇÃO	1
1.2	OBJETIVOS	2
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1	SISTEMAS DE MANUFATURA	5
2.1.1	Tipos de Processo.....	5
2.1.2	Tipos Básicos de Arranjo Físico	6
2.1.3	Relação entre Tipos de Processo e Arranjo Físico	7
2.2	LINHAS DE MONTAGEM	9
2.2.1	Classificação das Linhas de Montagem	11
2.2.2	Projeto de Linhas de Montagem.....	18
2.2.3	Balanceamento de Linhas de Montagem.....	20
2.3	CÉLULAS DE MONTAGEM	23
2.3.1	Métodos de Formação de Células	25
2.4	Análise e Aplicabilidade dos Métodos de Formação de Células para Linhas de Montagem	30
2.5	GARGALO EM LINHA DE MONTAGEM	32
2.6	PRODUTIVIDADE	38
2.6.1	Produtividade da Mão-de-obra.....	39
3	HEURÍSTICA PROPOSTA.....	41
3.1	DEFINIÇÃO DA ABRANGÊNCIA DO PROBLEMA	41
3.2	OPERAÇÕES NECESSÁRIAS PARA A MONTAGEM DOS PRODUTOS.....	43
3.2.1	Operações Comuns.....	43
3.2.2	Outras Operações	44
3.2.3	Tempos de Operação.....	45
3.2.4	Detecção de Observações Atípicas.....	46
3.3	GARGALO EM LINHAS DE MONTAGEM MIXADA.....	48
3.4	INDICADORES PARA CONFIGURAÇÕES DAS LINHAS DE MONTAGEM.....	50
3.4.1	Tempo Total de Operação (T_i)	51
3.4.2	Diferença de Tempo entre Produtos ($DT_i - j$).....	53
3.4.3	Índice de Utilização do Tempo (IUT)	54
3.5	DEFINIÇÃO DO MIX DE PRODUTOS PARA LINHAS DE MONTAGEM	59

3.5.1	Dados de Entrada	61
3.5.2	Algoritmo	61
3.5.3	Dados de Saída.....	64
3.6	ABORDAGENS DE DEFINIÇÃO DE PRODUTOS-REFERÊNCIA.....	64
3.6.1	Abordagem 1: Produtos-referência de Maior Demanda.....	64
3.6.2	Abordagem 2: Faixas de Tempos-referência	65
3.6.3	Abordagem 3: Produção Focada	67
3.6.4	Abordagem 4: Produção Modular.....	67
4	ESTUDO DE CASO.....	69
4.1	APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA.....	69
4.2	ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA	71
4.2.1	Operação 1	84
4.2.2	Operação 11	85
4.2.3	Operação 12	85
4.2.4	Operação 13	85
4.2.5	Operação 23	85
4.2.6	Operação 28	86
4.2.7	Operação 30	86
4.2.8	Operação 32	86
4.2.9	Operação 33	86
4.2.10	Operação 40	87
4.2.11	Operação 49	87
4.2.12	Operação 46	87
4.2.13	Operação 61	87
4.2.14	Operação 63	88
4.2.15	Operação 67	88
4.2.16	Operação 73	88
4.2.17	Operação 78	89
4.3	CONFIGURAÇÃO DE MIX PARA LINHAS DE MONTAGEM MIXADAS DE REFRIGERADORES E FREEZERS.....	98
4.3.1	Abordagem 1: Produtos-referência de Maior Demanda.....	101
4.3.2	Abordagem 2: Faixas de Tempo-referência.....	108
4.3.3	Abordagem 3: Produção Focada	114
4.3.4	Abordagem 4: Produção Modular.....	120
4.4	RESULTADOS.....	137
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	141
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	145
6.	REFERÊNCIAS.....	I

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho propõe uma heurística de configuração de mix de produção¹ em linhas de montagem mixadas – que produzem vários modelos de produtos simultaneamente – com mão-de-obra intensiva. Neste caso, devido a utilização intensiva da mão-de-obra, grande parte dos custos de transformação do produto advém da produtividade desta força de trabalho, fator este relevante para o direcionamento deste estudo.

1.1 MOTIVAÇÃO

Nos últimos anos, as empresas de diferentes ramos de atuação vêm sofrendo uma constante pressão de mercado em relação ao aumento da variedade de produtos. Não há dúvidas de que oferecer uma grande variedade de produtos confere à empresa uma vantagem competitiva, pois desta maneira se atinge um maior número de consumidores. Por outro lado, este aumento de variedade também aumenta os custos operacionais. Como exemplo, cita-se o aumento do custo de *setups*, uma vez que se tem maior quantidade de troca de ferramentas (maior tempo de máquina parada) para a fabricação de mais itens e aumento do custo de estoque, devido ao crescimento do número de itens distintos no estoque.

No caso de empresas montadoras, que tradicionalmente utilizam as linhas de montagem como sistema de manufatura, essa pressão de mercado gera um crescente desafio de montar simultaneamente produtos bastante diferentes – normalmente numa amplitude significativamente maior do que aquele quando se projetou e construiu as linhas – e, ao mesmo tempo, preservar os altos índices de produtividade da mão-de-obra, que fizeram das linhas de montagem um sistema tão interessante economicamente.

Nas empresas, a queda da produtividade tanto da mão-de-obra quanto de equipamentos devido ao aumento do mix de produtos a serem fabricados é reclamação recorrente dos gestores de produção. (NASCIMENTO, et al., 2007) apresentam um caso numa linha de montagem de transformadores em que o aumento da variedade de

¹Mix de produção refere-se ao conjunto de diferentes produtos e a quantidade que cada um deles deve ser produzido.

produtos fez com que o custo de mão-de-obra por peça aumentasse em 50%.

O problema de fabricação de produtos diferentes no mesmo sistema de manufatura, já foi muito abordado na literatura para processos de fabricação propriamente ditos (ex. usinagem, corte, injeção, etc.) com os estudos de formação de células de manufatura. No entanto, pouco se desenvolveu sobre a variedade de produtos em sistemas de montagem e como partilhar esses diferentes produtos entre as linhas de montagem disponíveis.

Desta forma, a motivação deste trabalho foi resolver o problema de alocação de mix para as linhas de montagem com a finalidade de agrupar, em cada sistema de montagem, os produtos mais semelhantes, para que as linhas de montagem tenham a maior produtividade da mão-de-obra possível. Além disso, também se tem o interesse em analisar diferentes formas de desenho e administração de sistemas de montagem, para possibilitar o direcionamento de que tipo de organização produtiva mais se adéqua à variedade de mix e quantidade de linhas de montagem de cada caso.

Embora este trabalho tenha sido motivado pela detecção de uma carência na literatura em relação ao estudo da configuração de mix para linhas de montagem, notou-se que esta problemática também é preocupação de várias empresas montadoras. Este fato foi evidenciado por visitas realizadas em diferentes empresas de diversos setores. Com isso, a metodologia foi desenhada de forma a possibilitar sua aplicação para qualquer situação em que se tenha um grande número de diferentes produtos a serem produzidos por uma quantidade finita de sistemas de montagem com mão-de-obra intensiva.

A Heurística para Configuração de Mix em Linhas de Montagem mixadas com mão-de-obra intensiva é introduzida nessa dissertação como uma forma de configuração de mix nos sistemas de montagem através da análise das diferenças, em relação às operações de montagem, entre os diversos produtos.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo principal do presente trabalho é o desenvolvimento de uma solução de alocação do mix de produtos demandados – que podem ser produtos já existentes ou novos – às linhas de montagem com mão-de-obra intensiva, de forma a utilizar, da melhor maneira possível, o tempo disponível da força de trabalho.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Adicionalmente, os seguintes objetivos específicos são apresentados:

- Criar uma metodologia aplicável a casos reais, que leve em consideração as principais variáveis e restrições de produção de determinado mix de produtos nos sistemas de montagem;
- Criar uma ferramenta de geração de diversas possibilidades de mix, para auxiliar na tomada de decisões;
- Desenvolver uma análise comparativa entre diferentes modelos de organização e administração de sistemas de montagem, para estudo da melhor forma de organização do sistema produtivo;
- Apresentar um estudo de caso numa empresa montadora.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho se encontra dividido nos seguintes capítulos, abordando os tópicos apresentados a seguir.

No Capítulo 2 é apresentada uma revisão bibliográfica. Inicialmente são apresentados os sistemas de manufatura e a evolução desses ao longo da história da indústria. A seguir, é feito um alinhamento de conceitos sobre linhas de montagem e células de montagem. A revisão bibliográfica apresenta alguns métodos de formação de células de manufatura e a aplicabilidade desses para o problema de definição de mix de produtos para linhas de montagem mixadas com mão-de-obra intensiva. Por fim, são abordados conceitos sobre gargalos em linhas de montagem e produtividade da mão-de-obra.

No Capítulo 3 é apresentado o passo-a-passo da heurística para configuração de linhas de montagem mixadas com mão-de-obra intensiva, passando por tópicos como a definição da abrangência do problema, indicadores para configuração das linhas de montagem e definição do mix de produtos para linhas de montagem. Com a finalidade de comparar diferentes formas de organização e administração do sistema produtivo, são apresentadas 4 abordagens de sistemas de manufatura denominadas de “Produtos-referência de maior demanda”, “Faixas de tempos-referência”, “Produção focada” e “Produção Modular”.

O Capítulo 4 inicia-se com a apresentação e estruturação do problema para a empresa onde foi realizado o estudo de caso. São

apresentados e discutidos os resultados da heurística proposta para as 4 abordagens e então é feita a análise dos resultados obtidos.

Finalmente, no Capítulo 5, são mostradas as conclusões finais do presente trabalho, apresentando sugestões para projetos futuros, assim como propostas para a continuação de pesquisas nesta área.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esta revisão bibliográfica inicia-se abordando os sistemas de manufatura e aprofunda-se nas linhas de montagem, detalhando os tópicos: *layout* de linhas, variedade de produtos, seqüenciamento dos produtos, projeto de linhas de montagem e balanceamento da mão-de-obra. Também são apresentados os conceitos de células de montagem e os métodos de formação de células. Então é apresentada uma análise da aplicabilidade desses métodos para as linhas de montagem. Finalmente, é feito um alinhamento de conceitos sobre a Teoria das Restrições.

2.1 SISTEMAS DE MANUFATURA

Um sistema de produção, de acordo com a abordagem proposta por (SLACK, et al., 2002), pode ser definido como um agrupamento relativamente complexo de elementos que, a partir de determinados insumos (*inputs*) irá produzir determinados resultados (*outputs*), através de processos de transformação.

Ainda que exista uma organização prévia que rege o funcionamento dos processos, isso não garante que os resultados sejam atingidos conforme o plano, requerendo monitoramento e retroalimentação constante para corrigir as discrepâncias entre o plano e o real. Como exemplos de parâmetros de monitoramento dos sistemas produtivos têm-se: tempo de produção; taxa de produção; estoque intermediário; percentual de defeitos; percentual de entregas feitas no tempo previsto; custo total ou unitário, etc.

Neste trabalho, serão analisados os principais elementos físicos de um Sistema de Manufatura, dando maior foco no elemento Processo.

2.1.1 Tipos de Processo

Este tópico se iniciará fazendo uma breve descrição dos diferentes tipos de Processos de Manufatura, segundo a abordagem de (SLACK, et al., 2002). Em ordem de volume crescente e variedade decrescente, os tipos de processos são:

- Processos por Projeto- lidam com produtos discretos, bastante customizados. O tempo para fazer o produto ou serviço é longo, o volume é baixo e a variedade é alta. Muitas vezes as atividades não são bem definidas, alterando-se até mesmo

durante a fabricação / montagem do produto. Como exemplos de processos de projeto citam-se a construção de navios, produção de filmes e fabricação de grandes operações como turbo-geradores e furação de poços de petróleo.

- Processos tipo Jobbing: Também são processos de baixo volume e alta variedade. Em geral, os produtos são bastante customizados, no entanto possuem custo de produção significativamente menor do que aqueles feitos em processos de projeto. Por isso, os produtos produzidos por processos de jobbing compartilham recursos de operação com outros produtos. Como exemplos têm-se a impressão de ingressos em gráficas, restauradores de móveis e alfaiates de roupas sob encomenda.
- Processos tipo Batch: São processos em lotes ou bateladas. Têm grau de variedade inferior do que os processos de jobbing e produzem alto volume. Exemplos de produtos feitos por processos tipo batch são peças plásticas injetadas, peças conformadas e tingimento de roupas em grandes confecções.
- Processos em Massa: Produzem bens em alto volume e variedade relativamente baixa, em relação aos aspectos fundamentais do projeto do produto. Ou seja, a variedade existe, mas não altera significativamente as operações de fabricação / montagem do produto. Como exemplos citam-se a montagem de automóveis, a maior parte da fabricação de bens duráveis e o engarrafamento de bebidas.
- Processos Contínuos: Operam em volumes ainda maiores do que os processos em massa e, em geral, a variedade é mais estreita. Em alguns casos, são literalmente contínuos (inseparáveis), exigindo a produção em fluxo ininterrupto. Normalmente, estão associados a tecnologias inflexíveis e de capital intensivo. Exemplos de Processos Contínuos são instalações de eletricidade, siderúrgicas e algumas fábricas de papéis.

2.1.2 Tipos Básicos de Arranjo Físico

O arranjo físico ou *layout* refere-se à maneira que os recursos ficarão fisicamente alocados no chão de fábrica. Como consequência, o tipo de *layout* determina o fluxo que produto vai percorrer para ser fabricado / montado, por isso, sua definição tem forte relação com os

tamanhos de lote, estoques em processo e intensidade da movimentação de materiais que serão necessários para se executar a produção do bem. Existem tipos de arranjo físico híbridos, que agrupam conceitos de mais de um tipo de arranjo físico, no entanto os tipos básicos comumente citados na literatura são apenas quatro, descritos a seguir:

- **Posicional ou Layout Fixo:** Como o próprio nome sugere, no arranjo físico posicional os itens produzidos não se movem. São os trabalhadores, máquinas e materiais que vêm até o produto que está sendo fabricado. O motivo para se optar por este tipo de layout é a dimensão do produto, que inviabiliza sua movimentação até os recursos de forma conveniente.
- **Por Processo ou Funcional:** Nesse tipo de arranjo físico, os recursos similares são localizados próximos uns aos outros, ou seja, as máquinas são agrupadas segundo sua função (fresadoras agrupadas num local, tornos agrupados em outro, etc). Em geral, este tipo de layout é escolhido objetivando-se a maior utilização dos recursos, no entanto, o fluxo de materiais torna-se bastante complexo, uma vez que os roteiros de fabricação são distintos produto a produto. Segundo (FERREIRA, 2009), este tipo de arranjo físico é o mais utilizado nos EUA.
- **Celular:** No arranjo físico Celular, os recursos transformadores necessários para o processamento de um grupo específico de produtos ficam agrupados de maneira a permitir que o produto passe por uma operação e siga para a operação seguinte sem grandes esperas (pois desestimula os grandes lotes) e percorrendo distâncias curtas (pois os recursos de diferentes funções estão próximos).
- **Por Produto ou em Fluxo:** No layout por produto, a localização dos recursos e equipamentos é feita levando-se em conta a melhor conveniência para o bem a ser produzido. Os processos são ordenados seguindo a seqüência de atividades requerida pelo produto. A forma mais conhecida deste tipo de arranjo físico é a linha de montagem.

2.1.3 Relação entre Tipos de Processo e Arranjo Físico

De acordo com (SLACK, et al., 2002), a relação entre tipos de processo e tipos básicos de arranjo físico não é totalmente determinística. Isso significa que um tipo de processo não necessariamente implica um tipo básico de arranjo físico em particular.

Na Figura 1, é representada a relação entre os tipos de processos e de arranjo físico.

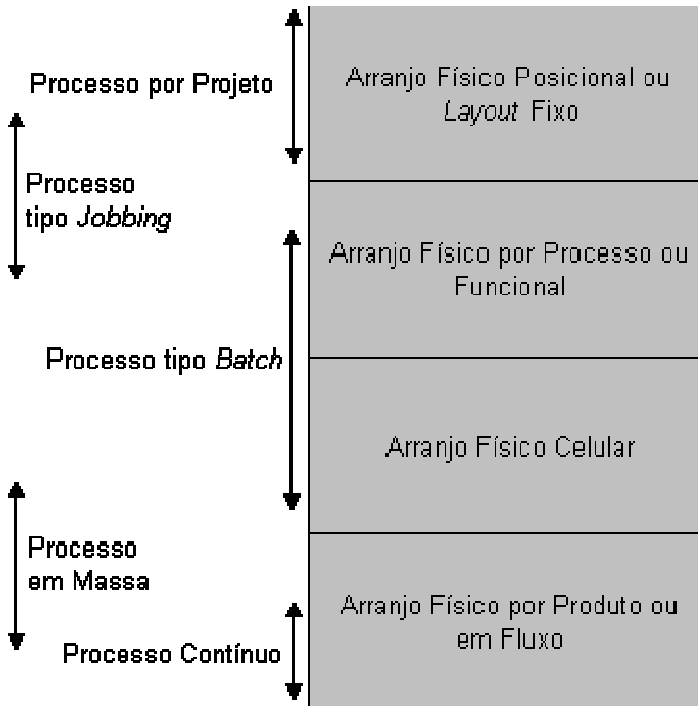


Figura 1: Relação entre tipos de Processo e Tipos Básicos de Arranjo Físico
Fonte: Adaptado de (SLACK, et al., 2002)

A escolha do arranjo físico impacta diretamente no fluxo de materiais e produtos no chão de fábrica. Segundo (SLACK, et al., 2002), a importância do fluxo para uma operação depende do volume e da variedade dos bens a serem produzidos. Quanto maior for o volume, maior é a importância de se gerenciar bem os fluxos.

O arranjo físico por Processos resulta num fluxo com bastante movimentação de materiais. Já o *layout* em Fluxo e o *layout* Celular têm intensidade de movimentação de materiais menor, uma vez que priorizam o fluxo. No arranjo físico Posicional, os materiais convergem para o ponto onde o produto está sendo fabricado.

Como este estudo aborda a problemática de projeto de *layout* em fluxo, a seguir será apresentado um detalhamento sobre linhas de montagem.

2.2 LINHAS DE MONTAGEM

Segundo (CHOW, 1990), desde o princípio da humanidade, as pessoas já sabiam como criar objetos úteis compostos por múltiplas partes, em outras palavras, objetos que foram montados de alguma forma.

Para (SCHOLL, et al., 2006), a definição de linha de montagem é: um sistema produtivo orientado por fluxo, que consiste em p estações de trabalho, arranjadas ao longo de uma correia transportadora ou mecanismo similar de movimentação de materiais, onde a peça base é transportada consecutivamente de uma estação para a outra e, em cada estação, determinadas operações são repetidas dentro do tempo de ciclo².

A história da linha de montagem remete ao desenho proposto por Henry Ford em 1913, para a fabricação dos automóveis da *Ford Motor Co.* A revolucionária estratégia comercial da empresa era a produção de carros a preços populares. O caso de sucesso é o modelo Ford T, um automóvel com somente um tipo de chassi e somente uma cor – preto.

Ford acreditava que o trabalho deveria ir até o homem e não o homem ir até o trabalho e que o projeto do produto deveria ser ajustado para atender o maior número de clientes, culminando num projeto de um único modelo de produto. Ele pregava a economia de movimento e de pensamento do operador, que então deveria fazer apenas pequenos movimentos (ciclos curtos).

Com base nesses princípios Henry Ford introduziu a produção em massa e o conceito de linha de montagem. Até hoje, a linha de montagem é considerada uma das maiores inovações tecnológicas da era industrial, pois permitiu que o tempo de produção fosse reduzido drasticamente, impactando assim no custo dos produtos e consequentemente deixando-os mais acessíveis a população. Segundo (SHIMOKAWA, 1993), na década de 1910, as fábricas que adotavam a produção fixa, diferentemente daqueles que utilizavam as linhas de montagem, levavam no mínimo 12:28h para montar um automóvel, enquanto que na fabricante Ford, o tempo encolheu para 1:33h.

² Tempo de ciclo é o resultado da divisão do tempo disponível de trabalho pela quantidade de produtos a ser produzida nesse período, ou seja, o intervalo de tempo que se tem para fazer um produto. De acordo com (PETERS, et al., 2006), o tempo de ciclo também é definido como o intervalo de tempo entre o processamento de duas unidades consecutivas. Para (MONDEN, 1983), o tempo de ciclo é calculado através da equação: $tc = \text{tempo total de operação por período} / \sum_{i=1}^m Q_i$, onde Q_i é a quantidade de produtos planejados para a produção no período.

O conceito e o projeto das linhas de montagem normalmente são associados a duas inovações, pregadas por Ford, da história dos sistemas de montagem: a intercambialidade das peças e a divisão do trabalho.

A intercambialidade das peças e padronização do produto determina que peças do mesmo tipo devem ser submetidas às mesmas especificações, implicando em qualidade uniforme e fazendo com que peças de diferentes fontes possam ser unidas para a construção do produto final. Na produção artesanal, cada veículo fabricado era praticamente um protótipo, possuindo suas próprias peças, muitas vezes exclusivas. Ford percebeu que se utilizasse peças padronizadas e com as mesmas especificações, poderia reduzir grande parte do esforço gasto no ajuste das peças aos produtos.

Outra característica das linhas de montagem é a divisão do trabalho. Quando uma atividade de montagem tem um longo tempo de execução ou requer a união de muitas peças, o trabalho pode ser dividido em um número maior de atividades menores, fazendo com que cada atividade construa uma parte do produto final. Como cada atividade tem relativamente pequeno conteúdo de trabalho, a habilidade do montador pode ser desenvolvida num curto período de tempo, fazendo com que a velocidade de montagem e a qualidade pudessem ser melhoradas com maior facilidade.

Citando (CHOW, 1990) o fluxo de materiais tornou-se relativamente complexo, uma vez que a montagem passou a ser composta de múltiplas estações de trabalho e os produtos deveriam transitar entre elas. No entanto, a movimentação física dos materiais é uma tarefa mais simples e mecânica do que as atividades de montagem. Ou seja, a produtividade do operador pôde ser melhorada introduzindo um sistema de movimentação de materiais e deixando os operadores concentrados nas atividades de montagem, onde se requer maior habilidade e foco. Como consequência, apareceu outra importante característica das linhas de montagem: a movimentação mecânica dos produtos.

Nos anos de 1920, Kiichiro Toyoda durante suas visitas à Europa e Estados Unidos ficou bastante interessado nas indústrias de automóvel, estabelecendo a *Toyota Motor Corporation* em 1937. No entanto, o mercado doméstico japonês era muito menor que o americano e exigia uma variedade muito maior de modelos de automóveis, desde veículos grandes e luxuosos para as autoridades como carros populares para a população em geral. Além disso, a aquisição de máquinas de grande porte e a produção de grandes lotes de peças para estoque, muito comum na produção em massa (já que os componentes eram

padronizados), também não se adequavam a realidade da Toyota, pois seus recursos eram restritos, uma vez que o Japão vivia a devastação do período pós-guerra. A necessidade de se fazer veículos com maior qualidade – para que fossem atrativos perante aos automóveis dos concorrentes, principalmente os norte-americanos – com menos recursos foi o motivo impulsionador para a criação das bases do Sistema Toyota de Produção (STP).

Dentre as propostas do STP, está o sistema de *layout* celular. De acordo com (SURI, 1998) uma célula é um conjunto de máquinas geralmente distintas, próximas umas às outras, dispostas de acordo com seqüência do processo para minimizar movimentação de peças (normalmente em *layout* em formato U).

Quando se fala em células de montagem, normalmente cada membro da equipe executa todos os processos, fazendo a montagem do produto por completo. Portanto, as células se diferenciam das linhas de montagem pela multi-funcionalidade dos operadores, que são treinados para vários tipos de tarefas diferentes e não apenas para executar as operações de uma estação de trabalho, e pela maior autonomia ao grupo, que pode ser responsável pelo desempenho de qualidade e produtividade. Outra característica interessante desse sistema de montagem é que, como um operador é responsável pela montagem do produto por inteiro, a variabilidade de qualidade em relação às linhas de montagem é menor, pois há maior facilidade de rastreamento dos defeitos e maior motivação do operador. No que tange ao fluxo dos produtos, normalmente as células de montagem não utilizam as esteiras de movimentação. Os produtos são posicionados em cima de meios transportadores manuais (normalmente carrinhos de movimentação manual, às vezes, guiados por trilhos), que são movimentados ao longo da célula pelos próprios operadores.

2.2.1 Classificação das Linhas de Montagem

- a) Em relação ao número de modelos de produtos:

De acordo com (BOCK, 2006), originalmente o uso das linhas de montagem foi restrito a cenários de produto único, onde se tinha a produção em grande escala e de produtos homogêneos. O exemplo mais famoso é o caso motivador da criação desse sistema de produção, o modelo de automóvel Ford T, que se tratava de um único modelo e uma única cor.

(ASKIN, et al., 1993) afirma que a linha de montagem desejável segue exatamente essas características, ou seja, concentra alto volume de produção de um único produto. No entanto, na prática, muitos produtos não têm demanda suficiente para justificar uma linha de montagem. Por conta disso, as linhas para multi-modelos em lotes e as linhas mixadas têm sido utilizadas.

Como regra geral, um sistema de montagem compartilhado, que faz vários modelos de produtos, torna-se mais complexo do que os sistemas dedicados, que faz apenas um único modelo. (HU, et al., 2008) citam alguns trabalhos que mostram que o aumento da variedade de produtos tem impacto negativos nos requisitos de produtividade e qualidade dos sistemas de montagem como os estudos de MacDuffie et al., Deshmukh et al., Fujimoto et. al. e ElMaragha et. al.

Com a diversificação de produtos imposta pelo mercado, as linhas de montagem tiveram que se flexibilizar, a fim de produzir modelos de produtos diferentes. O primeiro passo foi a montagem de produtos diferentes em lotes, utilizando a mesma linha de montagem. Ou seja, num período a linha produz todo o lote do modelo A, em outro período produz todo o lote do modelo B e assim sucessivamente. Posteriormente vieram as linhas mixadas. Para (FATTAHI, et al., 2009) as linhas de montagem mixadas são um caso especial, em que vários e diferentes modelos do mesmo produto estão misturados para serem produzidos na mesma linha conjuntamente. A Figura 2 mostra um esquema das linhas de montagem de acordo com o número de modelos de produtos e seu seqüenciamento.



Legenda:

- Sistema de movimentação dos produtos
- Produto a ser operado (Produto A)
- △ Produto a ser operado (Produto B)
- Produto a ser operado (Produto C)

Figura 2: Classificação das Linhas de Montagem em relação a quantidade e seqüenciamento dos modelos de produtos.

Segundo (FATTAHI, et al., 2009), as linhas mixadas estão ganhando aceitação crescente na indústria, pois combinam com a

tendência da diversificação de produtos. Além disso, outro importante benefício das linhas de montagem mixadas, segundo (SIANESI, 1998), é a flexibilidade quanto à possibilidade de montar os modelos demandados pelo mercado no dia e na quantidade certa. Ou seja, estas linhas facilitam o atendimento da demanda diária através do ajuste da produção, sem necessidade de grandes estoques de produtos finais, reduzindo os custos de capital imobilizado. Esse conceito é conhecido no Sistema Toyota de Produção como nivelamento da produção³.

(HU, et al., 2008) adiciona ainda a vantagem da economia de investimentos através do compartilhamento de ativos, uma vez que o mesmo sistema de montagem tem o seu custo fixo rateado por vários produtos diferentes.

b) Em relação ao arranjo físico:

Tradicionalmente, as linhas de montagem tem *layout* linear, conforme Figura 3.

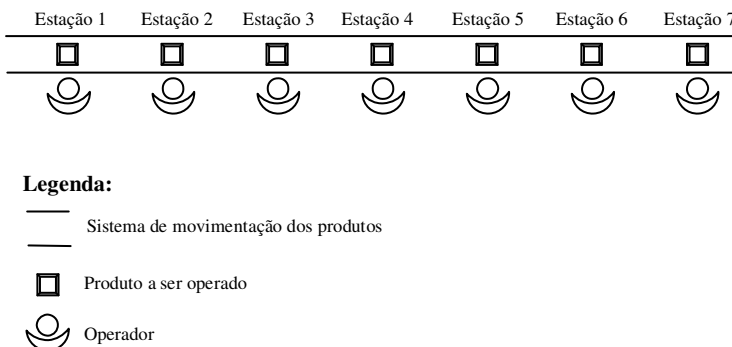


Figura 3: Esquema de linha de montagem de *layout* linear.

No entanto, outros tipos de configurações também são possíveis. Segundo (ASKIN, et al., 1993) as linhas com formato em U estão ganhando popularidade pois melhoram a integração e a comunicação entre os funcionários e facilitam a supervisão, além de economizarem

³ Nivelamento da produção é a distribuição ponderada pela demanda dos produtos ao longo do tempo, de modo a formar o mix e não se trabalhar em lotes. O objetivo é que se consiga montar todo produto a todo período. Quanto menor for o período de tempo, maior será o grau do nivelamento. No caso das linhas de montagem mixadas, o nivelamento existe, pois se monta diferentes produtos simultaneamente, porém o nivelamento somente será completo caso consiga se produzir todos os produtos que compõem o mix alocado para aquela linha ao mesmo tempo.

espaço. Na Figura 4 tem-se o exemplo de uma linha de montagem com esse arranjo físico.

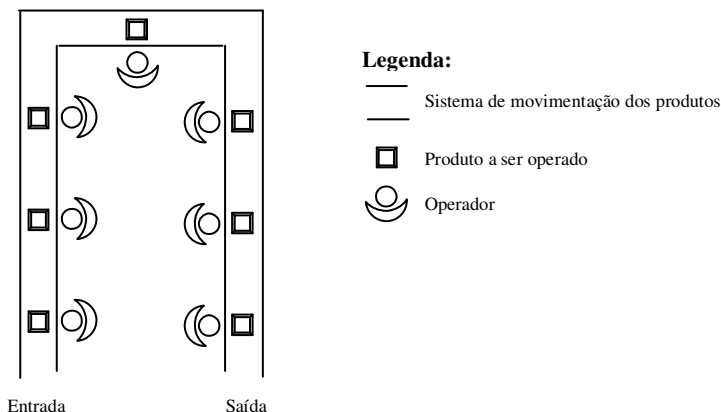


Figura 4: Esquema de linha de montagem com *layout* em U.

O *layout* em U foi formulado para facilitar o fluxo de materiais, uma vez que concentra os operadores no centro da linha e permite que o abastecimento de materiais seja feito pela parte externa, sem que haja interferência do abastecimento no ciclo de montagem. No entanto, é recorrente a aplicação desse tipo de *layout* alocando operadores tanto na parte interna quanto na parte externa da linha, eliminando assim a vantagem desse tipo de arranjo físico em relação ao fluxo de materiais.

Em geral, as linhas de montagem são compostas por processos seqüenciais em que todos os produtos passam por todas as estações de trabalho, conforme mostrado nos *layouts* apresentados. No entanto, em alguns casos, pode-se ter ao longo da linha de montagem estações de trabalho paralelas, conforme apresentado na Figura 5. Este tipo de situação ocorre normalmente quando a operação alocada para uma única estação supera, em muito tempo, o tempo de ciclo da linha de montagem. Em geral, trata-se de uma operação que coincide com o próprio elemento de trabalho⁴, não podendo subdividida em tarefas ainda mais elementares a serem completadas sequencialmente em diferentes estações. Também há o caso de atividades que podem ser subdivididas, mas por recomendações, devem ser executadas completamente em uma única estação a fim de favorecer a qualidade da

⁴ Elementos de trabalho são as menores tarefas nas quais uma operação pode ser dividida, isto é, tarefas indivisíveis.

atividade, uma vez que todos os elementos de trabalho são executados por um único operador.

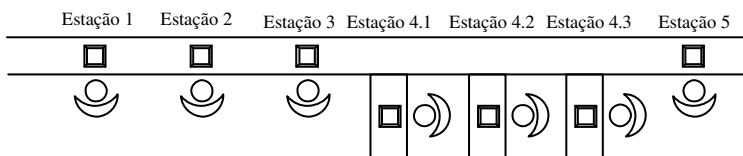


Figura 5: Esquema de linha de montagem de *layout* linear com estações de trabalho sequenciais e paralelas.

No caso apresentado na Figura 5, a atividade alocada para a estação de trabalho 4 é uma atividade indivisível e seu tempo é 3 vezes maior que o tempo de ciclo da linha de montagem. Desta forma, se constrói 3 estações de trabalho paralelas (Estação 4.1, Estação 4.2 e Estação 4.3) de maneira que o produto que entra na Estação 4.1 tem a atividade relativa à estação 4 completamente executada e portanto não entra nas Estações 4.2 e 4.3, e assim por diante.

Outro tipo de configuração física de linhas de montagem que vem ganhando aceitação são as linhas alimentadoras. Na Figura 6 é mostrado um esquema como exemplo.

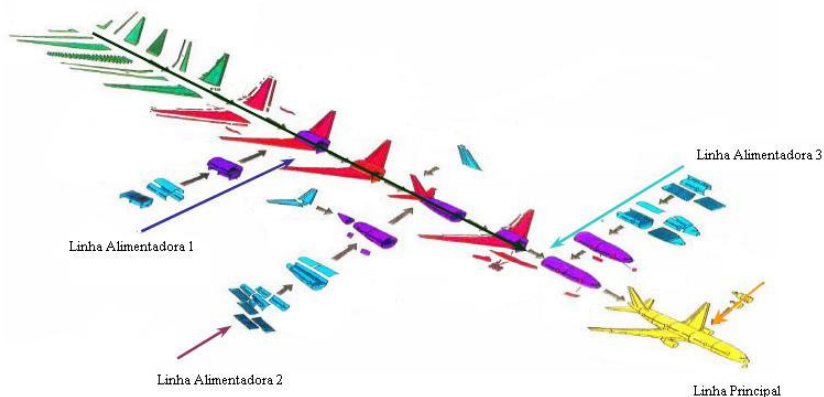


Figura 6: Linha de montagem Principal e linhas alimentadoras anexas
Fonte: Adaptado de (BETANCOURT, 2007)

As linhas alimentadoras, entregam peças ou subconjuntos de peças à linha de montagem principal. No desenho da Figura 6, a linha alimentadora 1 é responsável pela pré-montagem do corpo central, a

linha alimentadora 2 monta o corpo traseiro e a linha alimentadora 3 faz a sub-montagem do corpo frontal. Para este tipo de configuração de linhas de montagem é bastante criterioso o balanceamento entre as linhas alimentadoras e a linha principal para que os sub-conjuntos cheguem até esta no momento correto. Caso não haja sincronia, existe a possibilidade de formação de estoques intermediários entre as linhas alimentadoras e a linha principal ou falta de sub-conjuntos no momento em que a linha principal necessita, e certamente ambas as situações devem ser evitadas nesse sistema de montagem.

Segundo (REKIEK, et al., 2006), este tipo de sistema é indicado para produtos complexos, para que a montagem total seja decomposta em sub-conjuntos e cada um deles tenha seu próprio tempo de ciclo, confiabilidade e requisitos.

Alguns autores ainda elencam outros tipos de arranjo físico de linhas de montagem, como as linhas circulares e as linhas de dois lados. Na realidade esses desenhos originam-se dos arranjos já mostrados, com adaptações de acordo com a aplicação.

c) Em relação ao fluxo dos produtos:

Outra característica importante das linhas de montagem é o sistema que define seu “passo”. Existem linhas com sistema de movimentação de produtos através de correias com velocidade constante, ou seja, o produto fica sempre em movimento, em geral numa velocidade baixa, e o operador também se movimenta juntamente com o produto enquanto está executando sua atividade. Neste modelo, o operador tem um espaço predeterminado, relativo à sua estação de trabalho, para caminhar ao lado do produto e dos materiais e executar sua atividade. É bastante utilizado nas indústrias de produtos grandes, em que o operador precisa se posicionar dentro do produto para executar suas tarefas, como por exemplo a montagem de automóveis, ônibus e caminhões.

A linha de correia transportadora com velocidade constante é o desenho mais antigo das linhas de montagem, porém especialmente para montagem de produtos com tempo de ciclo curto, pode gerar alto índice de atividades incompletas, pois há a possibilidade de o produto chegar à próxima estação de trabalho sem que o operador da estação anterior tenha conseguido finalizar sua atividade. Outra característica bastante citada é o estresse demasiado dos operadores, quando a velocidade da linha é acelerada sem estudos prévios de tempos e métodos da mão-de-obra.

A movimentação do produto também pode ser guiada por uma linha com passo constante, muitas vezes citada como linha sincronizada. Neste modelo, as correias de velocidade constante movimentam o produto apenas entre as estações de trabalho e, quando este chega a uma estação para iniciar a atividade, a correia automaticamente pára e o produto fica parado durante o tempo estipulado para que atividade seja completada, ou seja, o tempo de ciclo. Somente após este tempo, a correia movimenta-se novamente para levar o produto da estação em questão para a próxima estação. Neste modelo, segundo (BETANCOURT, 2007), todas as estações de trabalho iniciam o processamento ao mesmo tempo e a movimentação dos produtos entre uma estação e outra também ocorre simultaneamente. Para as linhas sincronizadas, a taxa de produção é constante. De acordo com (REKIEK, et al., 2006), são indicadas para produção de médio e alto volume de produtos.

As linhas assincronizadas são aquelas onde as estações de trabalho podem ter velocidades diferentes, ou seja, os produtos são transportados de uma estação para a outra somente quando a operação for completada. Normalmente, os operadores são responsáveis por sinalizar quando finalizaram sua operação, através de botoeiras ou pedaleiras, e então o produto se moverá para a próxima estação após esse sinal. Para garantir uma boa cadência para este tipo de linha de montagem, tem-se a necessidade de utilizar pequenos estoques intermediários entre os postos de trabalho, para evitar que uma estação fique parada por conta do atraso da estação anterior.

d) Em relação ao nível de automação:

Nas linhas de montagem manuais as operações são realizadas por pessoas. De acordo com (BETANCOURT, 2007) esse tipo de sistema é comumente utilizado quando as peças são frágeis ou tem importância especial. Como exemplo, a autora cita a montagem das motocicletas Harley Davidson, que é feita em linha de montagem 100% manual.

Para as linhas de montagem robotizadas, as atividades são realizadas por robôs. Esses sistemas normalmente são indicados para realização de atividades de elevada precisão ou para operações insalubres, a fim de evitar a presença do ser-humano nesses ambientes.

A indústria de cerâmica de revestimento é um bom exemplo de linha automatizada. O tempo de *setup* da linha para fazer a mudança da fabricação de um modelo de cerâmica para outro pode passar de 6 horas, somente com ajustes de sensores e equipamentos. No entanto, como os volumes produzidos de cada modelo de cerâmica normalmente são altos

e se necessita de elevada precisão nas cores e desenhos, as linhas automatizadas são bastante comuns. No entanto, ainda existe a produção em larga escala de cerâmicas pintadas manualmente.

Ao definir o grau de automatização de uma linha de montagem, é importante analisar a variabilidade das tarefas de um modelo para outro e o ciclo de vida dos produtos. Em casos onde as atividades diferem muito entre os modelos de produtos ou em que o ciclo de vida do produto é muito curto e novos produtos são introduzidos nas linhas com frequência, as linhas robotizadas passam a ser mais complexas, pois cada mudança pode exigir adequações e reprogramação das máquinas, o que possivelmente demanda significativo tempo e custo.

Segundo (REKIEK, et al., 2006), existe a possibilidade de se construir linhas híbridas, onde as operações são executadas manualmente e também por robôs ou equipamentos altamente automatizados.

Por conta de todas essas características mencionadas anteriormente, as linhas de montagem ficaram conhecidas pela sua aplicação na produção em grande escala de produtos padronizados, enquanto as células de montagem, por serem altamente flexíveis, são mais indicadas para produção em menor escala. No entanto, segundo (BECKER, et al., 2003), as linhas de montagem vêm ganhando cada vez mais importância também para a produção de baixos volumes e produtos customizados.

2.2.2 Projeto de Linhas de Montagem

O projeto de uma linha de montagem, de acordo com (BECKER, et al., 2003), é uma decisão de longo prazo e usualmente requer um alto investimento, por isso é tão importante que o sistema seja projetado para ser o mais eficiente possível. No entanto, de acordo com (REKIEK, et al., 2002), atualmente os sistemas de produção são caracterizados por produtos com ciclo de vida curtos, maior grau de automação e constante aparecimento de novos equipamentos e tecnologias, o que faz com que se aumente a frequência das necessidades de adequações e re-projeto das linhas de produção.

O principal objetivo tradicionalmente dado às equipes de engenharia para planejar uma linha de montagem é projetar um sistema que seja capaz de produzir o maior número de produtos possíveis a um custo aceitável. Muitas vezes, aspectos importantes para a operacionalização do sistema como o fluxo de materiais, a flexibilidade

da linha para produzir produtos diferentes daquele que inicialmente está se prevendo (caso ocorra uma mudança no perfil da demanda) e o *layout* para facilitar a ajuda-mútua⁵ entre as estações de trabalho são negligenciados.

Segundo Delchambre (1996) apud (REKIEK, et al., 2001), os problemas de *layout* de linhas de montagem estão divididos em duas partes: a parte lógica e o *layout* físico propriamente dito. A parte lógica trata de distribuir as tarefas para um grupo de estações de trabalho e decidir como essas estações estarão distribuídas pela linha de montagem. A parte do *layout* propriamente dito determina os espaços necessários, levando em consideração a dimensão das estações e dispositivos de processo, a área para estocagem de material, etc.

De acordo com (LUCERTINI, et al., 1998) embora muitos trabalhos sobre o projeto de linhas de montagem tenham sido publicados, poucas empresas usam essas técnicas. Uma das razões sugeridas é que poucos trabalhos apresentam modelos que englobam grande parte das considerações práticas do desenho de uma linha de montagem.

Na realidade, são muito comuns na academia metodologias que tratam da parte lógica do projeto da linha de montagem, enquanto que a temática do *layout* propriamente dito é tratada de forma mais empírica.

(REKIEK, et al., 2006) salientam que o projeto de linhas de montagem frequentemente tem uma estrutura complexa, devido aos vários componentes do problema como os dispositivos e ferramentas utilizados, os operadores, o fluxo de materiais, etc. Para um único produto, já é possível desenhar várias alternativas de *layout*.

O problema pode tornar-se altamente complexo quando se tem que considerar a combinação de várias alternativas de diferentes modelos de produtos. Segundo (MICHALEK, et al., 2005), faltam métodos de engenharia simultânea capazes de unir a definição de grupos de produtos e os sistemas de manufatura. Os autores citam que os métodos disponíveis são focados em problemas de produto único, cujas estruturas e soluções diferem substancialmente dos problemas de definição de grupos de produtos e seus respectivos sistemas de manufatura para um ambiente de vários modelos.

⁵ Ajuda-mútua entre estações de trabalho em linhas de montagem é um mecanismo que permite que o operador da estação 2 possa auxiliar o operador da estação 1 (ou da estação 3), caso ele tenha finalizado sua atividade antes do tempo previsto (e portanto, os demais ainda não finalizaram as suas). Para isso, é necessário a configuração do *layout* da linha e da distância entre as estações de trabalho de maneira que permitam a implementação desse conceito.

2.2.3 Balanceamento de Linhas de Montagem

O balanceamento de linhas de montagem trata da distribuição das atividades a serem executadas por cada posto de trabalho. Segundo (HADI, et al., 1997) esse problema tem sido foco de interesse da comunidade de gerenciamento da produção e operações pelos últimos 40 anos. O contínuo interesse pelo problema de balanceamento de linhas de montagem deve-se a um requisito básico da competitividade das empresas: o dimensionamento da mão-de-obra, pois ao se resolver o problema de balanceamento, como saída se tem a quantidade de postos de trabalho (e consequentemente de operadores) que o sistema de montagem necessita.

Conceitualmente, são muitas as definições para o problema do balanceamento de linhas de montagem. (BECKER, et al., 2003) caracterizam esse o problema (chamado pelos autores de ALBP – *Assembly Line Balancing Problem*) como um procedimento que consiste em particionar, de forma ótima, o conteúdo de trabalho total necessário para montar o produto entre as estações de trabalho, levando em consideração alguns objetivos. A forma básica de cálculo da quantidade de estações de trabalho necessárias para uma linha de montagem é apresentada na Equação 1.

$$n = \frac{\sum_{i=1}^m Q_i T_i}{td_{MOD}} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

n = número de estações de trabalho na linha de montagem;

Q_i = quantidade planejada de produção do produto i ;

T_i = tempo total de operação para a montagem do produto i ;

td_{MOD} = tempo disponível da mão-de-obra.

No numerador da Equação 1 tem-se o tempo total de operação necessário para montar todos os produtos (alocados a determinada linha em questão) nas suas determinadas quantidades requeridas. E no denominador tem-se o tempo disponível de cada operador, de modo que se dividindo o tempo total necessário pelo tempo disponível de cada operador, se obtém o número de operadores (ou estações de trabalho) que a linha necessita. Por exemplo, se o somatório do tempo total de operação dos produtos ponderado pela quantidade requerida de cada um deles para determinada linha de montagem fosse de 160 horas, e o tempo disponível de cada operador nesta empresa fosse de 8 horas, então o número de operadores para esta linha seria de 20 operadores.

Evidentemente, a proposta da Equação 1 é um cálculo básico, sem avaliar a interrelação entre as operações que compõem os produtos.

Outros autores adicionam ao problema de balanceamento, a relação de precedência das atividades, como faz (REKIEK, et al., 2002):

Para um dado tempo de ciclo, o problema clássico de balanceamento de linhas de montagem consiste em atribuir cada operação (tarefa⁶) para uma estação de trabalho, de modo que o tempo ocioso é minimizado e as restrições de precedência entre tarefas sejam satisfeitas.

Tipicamente, são utilizados dois tipos de função objetivo para solução do problema: minimizar o tempo de ciclo para um número fixo de estações de trabalho ou minimizar o número de estações de trabalho a fim de atingir uma determinada taxa de produção, que é inversamente proporcional ao tempo de ciclo ($Tx_p = 1/tc$, onde Tx_p é a taxa de produção e tc é o tempo de ciclo).

Usualmente, o diagrama de precedência é utilizado para visualizar as tarefas e suas relações, conforme Figura 7.

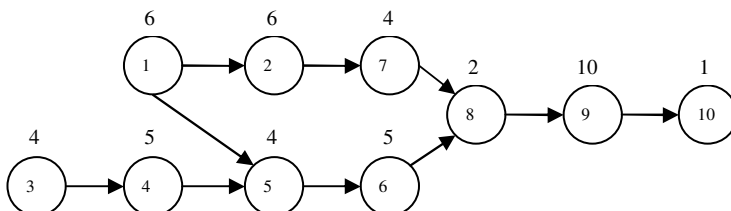


Figura 7: Diagrama de Precedência

Fonte: (BECKER, et al., 2003)

No diagrama de precedência os nós simbolizam as tarefas e os arcos simbolizam as restrições de precedência. Cada nó é nomeado conforme o índice da tarefa e acima dos nós é representado o tempo necessário para a execução de cada tarefa correspondente. Ou seja, nesse caso, o tempo total necessário para montar o produto é de 47 unidades de tempo (somatório dos tempos de cada tarefa), divididos em 10 tarefas, sendo que as tarefas podem levar de 1 a 10 unidades de tempo para serem executadas.

Supondo que o tempo de ciclo estipulado seja de 11 unidades de tempo, então uma solução de balanceamento possível seria agrupar as

⁶ Tarefa é a menor divisão do conteúdo de trabalho. São as operações elementares, que não podem ser mais particionadas.

tarefas: 1 e 3 na estação 1 (10 unidades de tempo), 2 e 4 na estação 2 (11 unidades de tempo), 5 e 6 na estação 3 (9 unidades de tempo), 7 e 8 na estação 4 (6 unidades de tempo), 9 e 10 na estação 5 (11 unidades de tempo). Para esta solução, o número de estações de trabalho seria 5 e o tempo ocioso nas estações 1, 3 e 4 seria de 1, 2 e 5 unidades de tempo, respectivamente.

Para o caso específico de balanceamento de linhas de montagem mixadas, Thomopoulos (1970) foi o pioneiro a desenvolver uma heurística⁷, objetivando distribuir as atividades entre as estações de trabalho de forma mais igualitária possível, de modo que todas estações de trabalho ficassem com tempos semelhantes de execução das atividades. Mais recentemente, (HADI, et al., 1997) estabeleceu esse problema como: dado um número p de modelos de produtos, o tempo de execução de cada tarefa para cada modelo de produto e restrito ao diagrama de precedência das tarefas (Figura 7) de cada produto, a solução busca determinar as tarefas a serem executadas por cada estação de trabalho de maneira que os índices de performance sejam otimizados.

Para as linhas de montagem mixadas, (MONDEN, 1983) afirma que um produto pode ter o tempo de operação maior que o tempo de ciclo determinado da linha de montagem. Na verdade, o autor considera que, em termos de média, o tempo total de operação para todos os produtos, ponderados pela sua taxa de produção, deve satisfazer a Equação 2.

$$m \sum_{i=1}^n Q_i T_{oi} \leq tc \quad (\text{Eq. 2})$$

Fonte: Adaptado de (MONDEN, 1983)

Onde:

Q_i = quantidade planejada de produção do produto i ;

T_{oi} = tempo da operação o para o produto i ;

tc = tempo de ciclo

Para esta situação, pressupõe-se que o adicional de tempo em relação ao tempo de ciclo de um produto mais complexo, será

⁷ Heurística é um método de aproximação das melhores soluções do problema. Os procedimentos heurísticos procuram um número tão grande quanto possível de soluções para o problema, selecionando a melhor entre elas (diferentemente das regras algorítmicas, que chegam à solução ótima depois de terem combinado todas as soluções possíveis). Ou seja, a solução encontrada por uma heurística não necessariamente é a melhor solução possível para o problema. Os procedimentos heurísticos normalmente levam menos tempo de processamento do que os procedimentos algorítmicos e, quando bem elaborados, garantem soluções eficientes.

recuperado pela antecipação do fim da operação para um produto mais simples, fazendo com que, na média, o tempo de ciclo determinado seja seguido.

No entanto, (MONDEN, 1983) ressalta que, se alguns produtos com tempos de operação maiores que o tempo de ciclo forem introduzidos na linha em sequência, isso irá gerar um atraso que pode acarretar inclusive a parada da linha. Para minimizar esse problema, devem-se utilizar algoritmos de seqüenciamento de linha de montagem mixadas.

De acordo com (BECKER, et al., 2003), o problema de sequenciamento tem como objetivo decidir a sequência de montagem dos modelos de produtos. Segundo os autores, a sequência é importante, pois interfere na eficiência da linha de montagem, uma vez que o tempo das atividades pode diferir consideravelmente entre os diferentes de produtos.

2.3 CÉLULAS DE MONTAGEM

A manufatura celular é definida, segundo (BURBIDGE, 1989), pelo agrupamento de uma ou mais máquinas ligadas pela movimentação conjunta de materiais, com o intuito de atender a fabricação de uma mesma família de produtos⁸. Essa, como muitas outras definições sobre o tema, em geral, estão mais relacionadas a células de fabricação e pouco relacionadas a células de montagem. No entanto, de acordo com (HYER, et al., 2002), as células de manufatura podem ser células que produzem apenas peças individuais, nomeadas de “células de peças” ou células que realizam a montagem, chamadas de “células de produtos”.

Um conceito mais abrangente para as células de manufatura é colocado por (HYER, et al., 1999), que as definem como o agrupamento de máquinas e peças de uma mesma família, criando um fluxo de trabalho no qual as tarefas e os operadores estão perfeitamente conectados através dos elementos tempo, espaço e informação.

⁸ De acordo com STADZISZ e HENRIOUD apud (DE LIT, et al., 2003) uma família de produtos é definida como um conjunto de produtos similares que possuem funções principais idênticas. Isso significa que todos os produtos são variantes do mesmo produto funcional. As variantes são devido às peças opcionais, diferenças em relação a funções secundárias ou diferenças entre a geometria das características dos produtos. Os produtos da família apresentam similaridade nos seus processos de montagem, nos volumes de produção de cada produto da família, assim como no ciclo de vida de cada produto, que não justificam um sistema de montagem específico para cada um deles.

Conceitualmente, sob algumas definições, muitas linhas de montagem podem ser consideradas células, sendo o contrário também possível. (HYER, et al., 2002) faz um comparativo das alterações que seriam necessárias para transformar uma linha de montagem clássica em uma célula de montagem com desenho ideal, sugerindo as seguintes modificações:

- a) Alteração do *layout* linear, usualmente longo e estreito, para o *layout* em formato de U;
- b) Quando aplicável, a remoção dos meios de movimentação automática dos produtos, que são abrangentemente utilizados nas linhas de montagem;
- c) Aproximação das estações de trabalho, reduzindo assim o espaço ocupado pelo sistema de montagem;
- d) Aumento da quantidade de tarefas para cada operador, o que acarreta a redução do número de estações de trabalho e consequentemente, a redução do número de operadores.

Adicionam-se a essas diferenças, outras características como: o grau de interação entre os funcionários, que costuma ser mais acentuado nas células de montagem, com procedimentos formais de auto-ajuda; o nível de qualidade maior nas células, pois os operadores executam uma maior porção de atividades de montagem do que nas linhas, fazendo com que os operadores entendam mais sobre o produto e desenvolvam o sentimento de “propriedade do processo”; e a redução de lesões por esforço repetitivo, também relacionada ao maior ciclo de montagem nas células do que nas linhas.

Como já apresentado na Figura 4, existem as linhas de montagem em *layout* em U, que tecnicamente são aquelas que mais se assemelham às células. De acordo com o sistema de movimentação de produtos, proximidade dos postos e organização do trabalho, uma linha de montagem com essa configuração pode, em muitos casos, ser também considerada uma célula.

Para o planejamento de uma célula de manufatura, o primeiro passo é a definição de família de produtos. A formação de famílias de produtos, segundo (BARAJAS, et al., 2009), é uma ferramenta poderosa, que possibilita tirar vantagens das similaridades entre os produtos e reduzir custos de projeto e manufatura. Na literatura, essa temática está bastante relacionada ao problema de formação de células de manufatura, ainda que tenha grande relevância quando se fala em linhas de montagem. Por conta disso, serão apresentadas adiante algumas metodologias para definição de famílias de produtos / peças,

advindas dos problemas de formação de células, mas que servem como referência para a definição de famílias para linhas de montagem.

2.3.1 Métodos de Formação de Células

Existem muitas classificações quanto aos métodos de formação de células. Neste trabalho será adotada a classificação proposta por (SELIM, et al., 1998), apresentada na Figura 8.

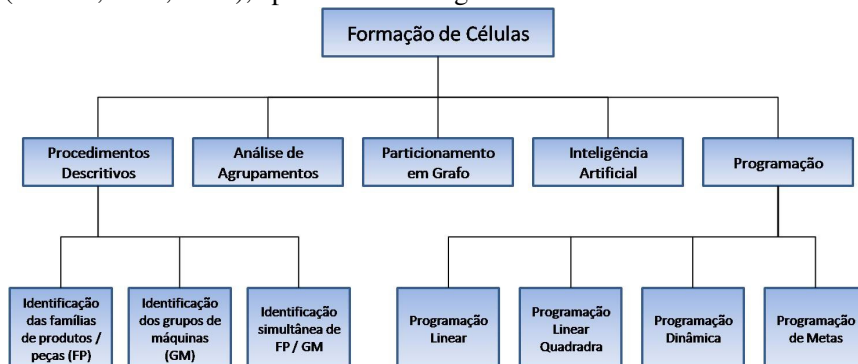


Figura 8: Classificação dos métodos de formação de células

Fonte: Adaptado de (SELIM, et al., 1998)

a) Procedimentos Descritivos

Os procedimentos descritivos de “Identificação das famílias de peças” iniciam-se identificando as famílias de produtos / peças e depois alocando as máquinas às famílias já definidas. A identificação das famílias de peças pode ser feita através de métodos mais práticos como regras práticas, exame visual, etc. ou através de sistemas de codificação e classificação.

Os sistemas de codificação e classificação, de acordo com Singh (1993) *apud* (LOPES, 1998), referem-se ao processo de atribuir um código, formado em relação aos atributos, a cada peça. Com isso, faz-se a formação de famílias com peças de atributos semelhantes. Esses sistemas normalmente utilizam atributos de projeto e/ou manufatura das peças / produtos. Quando a base de dados é grande, normalmente há a necessidade de informatização do sistema de geração de códigos, através de ligação com outros sistemas da empresa como PCP ou CAD/CAM. De acordo com (KUSIAK, 1987), os sistemas de codificação e classificação são caros e de difícil implementação, prováveis razões pelas quais muitas empresas decidiram não utilizá-los.

O segundo tipo de procedimento descritivo, “Identificação dos grupos de máquinas”, faz o procedimento inverso, inicialmente agrupando as máquinas e depois alocando os produtos / peças às mesmas. Já o procedimento descritivo de “Identificação simultânea de família de produtos e grupos de máquinas”, também conhecida como *Production Flow Analysis* (PFA) – Análise do Fluxo de Produção, é uma técnica que analisa as informações dos planos de produção dos produtos / peças para classificá-los em determinada família. De acordo com Montevechi (1996) *apud* (DUARTE, 2003), esta técnica tem 3 fases principais: primeiramente estuda-se o fluxo de materiais e peças entre os departamentos da empresa e depois o fluxo dentro de cada departamento; na segunda fase, é feito o agrupamento das rotas similares, gerando as famílias de peças; por final, se analisa o fluxo dentro da célula formada para fabricar determinada família de peças.

Segundo (YASUDA, et al., 2001), os métodos de PFA basicamente são intuitivos e relativamente fáceis de implementar, porém os autores ressaltam que esses métodos são indicados para problemas pequenos, uma vez que seria difícil lidar com problemas com base de dados grandes.

b) Análise de Agrupamentos

A Análise de Agrupamentos ou Análise de *Clusters* é uma ferramenta estatística utilizada para lidar com dados multivariados. De acordo com (HAIR, et al., 2005), essa ferramenta agrupa objetos de modo que cada objeto é muito semelhante aos outros do mesmo grupo, fazendo com que os agrupamentos devam exibir elevada homogeneidade interna (dentro dos agrupamentos) e elevada heterogeneidade externa (entre agrupamentos). A definição dos agrupamentos pode ser feita através de três procedimentos: técnicas baseadas na matriz de incidência, procedimentos hierárquicos e procedimentos não-hierárquicos.

As técnicas baseadas na matriz de incidência máquina-peça têm como partida uma matriz ($n \times p$), onde n são o número de máquinas e p o número de peças. As linhas (i) representam as máquinas e as colunas (j) representam as peças e então se assinala com o número 1 quando a máquina i faz parte do plano de processo da peça j e 0 caso contrário. Essas técnicas tentam alocar as máquinas para grupos de peças e suas famílias associadas rearranjando a ordem das linhas e colunas, a fim de encontrar blocos agrupados de entradas $a_{ij} = 1$ que sugerem a formação de uma célula.

A definição das famílias através dos métodos baseados na matriz de incidência, segundo (YASUDA, et al., 2001) pode não produzir uma matriz estruturada, fazendo com a que a identificação visual das famílias de peças e dos grupos de máquinas seja extremamente complexa.

Os procedimentos hierárquicos podem ser aglomerativos (também conhecidos como construtivos) ou divisivos. Nos métodos aglomerativos, cada objeto inicia sendo seu próprio agrupamento. Na sequência, os dois agrupamentos mais próximos são combinados em um novo agrupamento, reduzindo, a cada passo, o número de agrupamentos em uma unidade. Segundo (HAIR, et al., 2005):

Em alguns casos, um terceiro indivíduo se une aos dois primeiros em um agrupamento. Em outros, dois grupos de indivíduos formados em um estágio anterior podem se juntar em um novo agrupamento. Eventualmente, todos os indivíduos são reunidos em um grande agregado. (...)

Por conta dessa lógica, uma característica dos procedimentos hierárquicos é que os resultados de um passo estarão inseridos nos resultados do passo posterior.

Em geral, os métodos aglomerativos utilizam um algoritmo padrão, conforme é mostrado na Figura 9.

<p>Entrada: uma base de dados com N elementos Saída: um conjunto de grupos</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Iniciar com N grupos, contendo um elemento em cada grupo e uma matriz de similaridade $D_x N_x$; 2. Repetir; 3. Localizar a menor distância d_{uv} (maior similaridade); 4. Atualizar a matriz D, retirando os elementos U e V; 5. 5. Atualizar a matriz D, adicionando as novas distâncias do grupo (U, V); 6. Até $N-1$, quando todos elementos estarão em um único grupo.
--

Figura 9: Algoritmo padrão dos métodos divisivos

Fonte: (DONI, 2004)

Já no método divisivo, o procedimento inicia-se com um grande agrupamento contendo todos objetos e nos passos posteriores os objetos mais diferentes dentro de um mesmo agrupamento são transformados em agrupamentos menores, continuando a divisão até que cada agrupamento seja composto por apenas um objeto.

De acordo com (HAIR, et al., 2005) os métodos divisivos são semelhantes aos métodos aglomerativos ao contrário. Ainda citando os autores, os métodos aglomerativos são mais comumente usados. Por conta disso, daqui em diante se concentrará nas técnicas aglomerativas.

Operacionalmente, os métodos aglomerativos iniciam partindo de uma matriz de dados $n \times p$ (onde n representam as amostras e estão ordenadas na forma de linhas e p são as variáveis, ordenadas na forma de colunas) é calculado o coeficiente de similaridade / dissimilaridade (aquele que for escolhido) entre as linhas, que servem para formar uma matriz de coeficientes de similaridade/ dissimilaridade do tamanho $n \times n$. Então os coeficientes são agrupados de acordo com o algoritmo utilizado, seguindo uma disposição hierárquica.

Os algoritmos mais comumente citados quanto aos procedimentos hierárquicos são: Ligação Individual ou Vizinho mais próximo (Nearest neighbor); Ligação Completa ou Vizinho mais longe (Furthest Neighbor); Ligação Média; Método de Ward; e Método Centróide.

Nos procedimentos não hierárquicos – também conhecidos como K-médias ou *K-means* – o número de grupos a serem formados é pré-definido. Desta forma, a solução com um número x de grupos não é a combinação de dois agrupamentos da solução anterior (que continha $x-1$ grupos), mas é baseada no encontro da melhor solução de agrupamentos, dado o número x de grupos.

De acordo com (CORRAR, et al., 2007):

(...) o procedimento funciona desta maneira: o primeiro passo é selecionar um grupo de origem ou semente (*seed*) como o grupo central inicial e todos os objetos (indivíduos), dentro de uma distância inicial preestabelecida, são incluídos no grupo resultante. Então, outro grupo origem é escolhido, e a designação continua até que todos os objetos sejam distribuídos. Os objetos podem, então, ser redistribuídos se eles estiverem mais próximos de outro grupo do que aquele para o qual foram originalmente atribuídos.

As abordagens mais populares para designar observações individuais a um dos grupos são os métodos de Referência Seqüencial e Referência Paralela.

c) Particionamento em Grafo

Os métodos de particionamento em grafo tratam as máquinas e/ou peças como nós e a similaridade como arcos conectando os nós. Estes modelos objetivam desconectar sub-grafos que identificam as células. No trabalho de (SELIM, et al., 1998) é explicado com mais detalhes alguns algoritmos desenvolvidos para fazer o particionamento em grafo.

d) Inteligência Artificial

De acordo com (DUARTE, 2003), os métodos baseados em inteligência artificial utilizados para formação de células, têm como base as características geométricas dos produtos / peças e as características de processo. Em geral, estas técnicas buscam mecanizar o processo de análise dos produtos / peças. Porém (LOPES, 1998) salienta que são poucos os trabalhos que utilizam amplamente as técnicas de inteligência artificial e reconhecimento de padrões aplicadas à formação de células e definição de famílias.

De acordo com (SELIM, et al., 1998), ElMaraghya e Gu propõem um procedimento baseado em Inteligência Artificial, que identifica as características dos produtos / peças e endereça estes para a célula de máquinas mais apropriada. Os atributos utilizados são características geométricas dos produtos / peças, características de formação de células, características funcionais e também o conhecimento específico de manufatura. Segundo os mesmos autores, Kusiak desenvolveu o reconhecimento baseado no agrupamento de peças similar aos agrupamentos da Tecnologia de Grupo. A diferença básica entre as duas metodologias é o grau de automação.

e) Programação Matemática

Para (TAHARA et al., 1997) *apud* (DUARTE, 2003), o problema de formação de célula pode ser solucionado por métodos de programação matemática desde que o problema possa ser modelado e uma ou mais funções objetivos devam ser otimizadas. Os métodos de programação matemática, conforme mostrado na Figura 8 são classificados em: programação linear; programação inteira linear ou quadrática; programação dinâmica e programação de metas.

Um dos métodos mais frequentemente usados, segundo (GALAN, et al., 2007), é o modelo de p-medianas. De acordo com (SRINIVASAN, et al., 1990) esse método procura maximizar a soma dos coeficientes de similaridade para um número fixo de grupos, tomando como restrição que uma peça / produto deve pertencer a apenas

uma família. Nesse modelo, o número de grupos é um parâmetro a ser previamente especificado.

De acordo com (DUARTE, 2003), Chen e Heragu desenvolveram uma técnica que divide o sistema em diversos subsistemas e utilizam a programação matemática para avaliar cada subsistema, com base na função objetivo que representa o custo de movimentação, a ser minimizado. (DUARTE, 2003) também cita que Xambre e Vilarinho aplicaram a programação matemática para minimizar o fluxo de produtos / peças entre células e o número de células formadas para os casos em que uma família de produtos / peças possui um processo similar ao de outra e existe a necessidade de uso da mesma célula.

2.4 Análise e Aplicabilidade dos Métodos de Formação de Células para Linhas de Montagem

Conforme já abordado, os métodos de definição de famílias de produtos estão amplamente relacionados à formação de células de manufatura. Ainda que na prática também existam células de montagem, a grande maioria dos métodos está voltada a formação de células de fabricação, sendo que a problemática consiste em agrupar equipamentos com características processuais distintas para executarem o processo de fabricação das peças por completo numa mesma célula. Desta forma, em geral, os métodos tentam formar células com número mínimo de equipamentos duplicados – para reduzir o investimento – e/ou com menor quantidade de movimento de peças / produtos entre células – para facilitar o fluxo de materiais.

No caso de sistemas de montagem, a problemática de alocação de equipamentos não tem essa mesma importância. Primeiramente porque, em geral, os sistemas de montagem são formados por atividades majoritariamente manuais, em que os equipamentos utilizados nos postos de trabalho são dispositivos simples, relativamente de baixo investimento como parafusadeiras, gabaritos, etc. Ou seja, a preocupação com duplicação dos recursos que tem grande importância na formação de células de manufatura – pois nesse caso normalmente diz respeito a equipamentos custosos – não tem tanta relevância nos sistemas de montagem. Outra característica dos sistemas de montagem é que, quando há a necessidade de utilização de equipamentos mais específicos, essa necessidade normalmente não está relacionada a apenas um grupo de produtos, mas a todo o conjunto de produtos, diferente do que acontece para as células de manufatura. Por exemplo,

no problema de formação de células de manufatura para a fabricação de peças, uma família de peças necessita de tornos e rosqueadeiras, mas outra família de peças necessita apenas de tornos, não precisando passar pelo processo de criação da rosca. Já no caso do problema dos sistemas de montagem, citando como exemplo as empresas automobilísticas, o dispositivo de movimentação/fixação dos bancos no carro será necessário para qualquer família de produtos, porque todos os modelos de carros têm bancos para serem unidos ao corpo do veículo.

A minimização do movimento de peças / produtos entre as linhas ou células de montagem, outro critério comumente utilizado pelos métodos de formação de células, também não tem grande aplicação quando se fala de sistemas de montagem, pois normalmente as atividades de montagem são seqüenciais e seria impraticável uma peça / produto ser montado parcialmente num sistema de montagem e finalizado no outro. Essa alternativa é possível, desde que a peça / produto passe por a maior parte das etapas em ambos os sistemas e, como parte das etapas já foi realizada anteriormente no outro sistema de montagem, a peça / produto passaria por várias etapas sem ter as atividades realizadas, gerando ociosidade para esses postos de trabalho.

Nos problemas de formação de células existe grande preocupação com o agrupamento de peças com tolerâncias e requisitos de acabamento semelhantes, para que os equipamentos alocados a uma célula atendam a toda a família de peças cumprindo os requisitos de qualidade. Essas características processuais, cuja semelhança entre peças é fundamental nas células de manufatura, não precisam ser avaliadas com tanto rigor para a definição de famílias de produtos para sistemas de montagem, pois a mão-de-obra é muito mais flexível do que os equipamentos que formam as células.

Outra grande dificuldade da aplicação dos Métodos de Formação de Células é a constante ausência da variável demanda. Muitas vezes a solução sugere o agrupamento de alguns produtos, mas quando se verifica a demanda do grupo, esta não é suficiente para justificar uma linha de montagem exclusiva ao grupo ou então é superior à capacidade da linha, inviabilizando em ambos os casos a implementação da solução.

Segundo os conceitos da Filosofia Enxuta, a linha de montagem é o ponto de maior valor acrescentado da empresa, de onde os desperdícios devem ser mais arduamente eliminados. Além disso, a linha de montagem é o local mais denso em termos de mão-de-obra. Especialmente para as linhas de montagem mixadas, a variação do conteúdo de trabalho para cada operação é um importantíssimo aspecto para o sistema de montagem, pois influencia diretamente a

produtividade da mão-de-obra e conseqüentemente a competitividade do sistema de montagem.

De acordo com (NASCIMENTO, et al., 2007) existe outro comum problema quando há o agrupamento de produtos com diferentes conteúdos de trabalho num mesmo sistema de montagem. Quando se agrupa produtos de alta complexidade com produtos mais simples no mesmo sistema de montagem, os produtos mais simples são produzidos na mesma taxa dos produtos mais complexos, ou seja, estão passando por estações de trabalho sem que tenham agregação de valor, gerando improdutividade da mão-de-obra. Como grande parte das empresas faz o rateio dos custos de mão-de-obra direta pelo número total de peças produzidas no mês, os produtos mais simples podem ter sua parcela de custo de MOD impactada negativamente quando estão sendo produzidos simultaneamente com produtos mais complexos. Isso deve-se ao número total de produtos mais simples produzidos ser menor quando estes estão juntos a produtos mais complexos do que se estes estivessem agrupados com produtos mais semelhantes.

(NASCIMENTO, et al., 2007) citam um caso prático em linha de montagem mixada de transformadores, onde eram produzidos produtos mais complexos (A) e produtos mais simples (B). Inicialmente, os produtos A eram 5% da demanda e após um semestre, a proporção da demanda dos produtos A subiu para 16%. Esse incremento de produtos de alta complexidade impactou significativamente na produtividade da linha, gerando aumento no custo da mão-de-obra. Desta forma, em apenas um semestre, o custo unitário de MOD para os produtos mais simples (B) subiu 50%, influenciando a competitividade da empresa em relação a estes itens.

2.5 GARGALO EM LINHA DE MONTAGEM

Comercialmente, (GOLDRATT, et al., 2002) define gargalo como um recurso cuja capacidade não é suficiente para produzir as quantidades que o mercado demanda. Esse conceito foi amplamente divulgado em 1985 através da Teoria das Restrições (TOC – *Theory of Constraints*), apresentada por Eliyahu M. Goldratt no romance ficcional “A Meta”. No entanto, nesta dissertação, será utilizado o conceito operacional de gargalo, que se refere à operação mais lenta em relação às demais operações daquele fluxo produtivo.

A Teoria das Restrições tradicionalmente é resumida em 5 princípios, que direcionam o foco no processo de melhoria contínua.

1. Identificar a restrição do sistema: as restrições podem ser físicas (materiais, equipamentos, pessoas, etc) ou gerenciais. De qualquer forma, é necessário identificá-las e priorizá-las, de acordo com o impacto que causam na meta da organização;
2. Decidir como explorar a restrição do sistema: se a restrição for física, então o objetivo é fazê-la o mais eficiente possível. Se a restrição for gerencial, então ela deve ser eliminada e substituída por uma política que suporte o aumento da produção/ vendas.
3. Subordinar o restante à decisão acima: isso significa que todos os outros componentes do sistema (não-restrições) devem se ajustar para permitir que a restrição tenha a maior eficiência possível.
4. Elevar a restrição do sistema: rigoroso esforço de melhoria deve ser feito para melhorar a performance de uma restrição existente. Quando a performance da restrição melhorar, os recursos que não são restrições podem ser mais utilizados, melhorando a performance do sistema como um todo. Eventualmente, o sistema encontrará uma nova restrição.
5. Se em algum dos passos acima, uma restrição for quebrada, volte para o passo 1.

Esses 5 princípios podem ser aplicados em um ambiente produtivo e conseguir melhorias rápidas e substanciais, conforme será mostrado tomando como base a Figura 10.

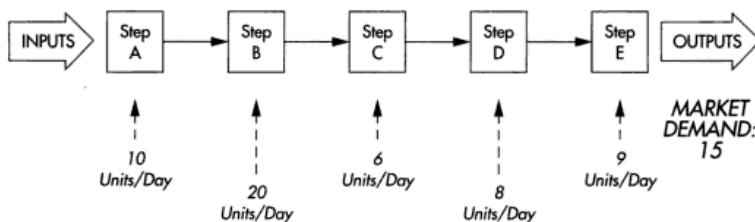


Figura 10: Sistema de Produção Inicial.

Fonte: (DETTMER, 1997)

Cada processo é um elo na cadeia de produção, de forma que, é necessário que todos os processos performem numa capacidade adequada para atingir o objetivo da empresa. Com base nesses conceitos e na Figura 10, nota-se que o processo gargalo é o C, pois, embora o mercado demande 15 produtos/dia, esse processo somente é capaz de fazer 6 produtos/dia. Isso significa que, não importa qual a capacidade dos demais processos, a empresa está restrita a 6

produtos/dia, pois o processo C é uma etapa necessária para a fabricação do produto acabado e não é capaz de processar mais do que 6 unidades/dia.

Suponhamos então que foram feitas melhorias no processo C e, com isso, sua capacidade foi aumentada para 18 produtos/dia. Desta forma, a restrição de produção passa a ser ditada pelo processo D, que só é capaz de produzir 8 produtos/dia. Então, se trabalha em cima do processo D para aumentar sua capacidade para 23 produtos/dia. Certamente outra restrição irá surgir. Neste caso, o processo E, que tem sua capacidade restrita a 9 produtos/dia. Novamente, deve-se explorar o processo E a fim de que este deixe de ser uma restrição. Com isso, o sistema de produção apresentado na Figura 10 tem suas capacidades alteradas, conforme apresentado na Figura 11.

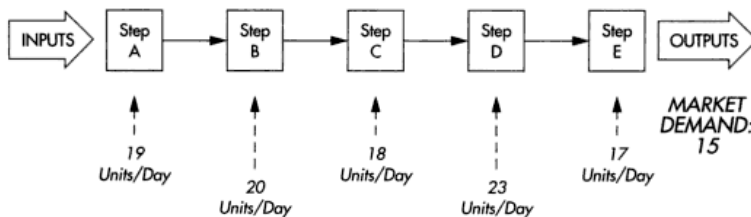


Figura 11: Sistema de Produção em outra versão.

Fonte: (DETTMER, 1997)

Finalmente, pode-se acreditar que as restrições foram todas eliminadas. Na verdade, somente as restrições internas foram eliminadas. No entanto, ainda é possível aumentar a capacidade do sistema, se o mercado demandar mais produtos. E então a empresa deve se perguntar o que deve ser feito para que o mercado demande mais produtos. Quando isso acontecer, certamente outra restrição aparecerá e então o processo conhecido como “elevantar” o gargalo (para que este deixe de sê-lo) mantém-se continuamente.

Embora a Figura 10 e a Figura 11 mostrem um sistema produtivo, com vários processos e a capacidade produtiva diária de cada um deles, elas podem também representar uma linha de montagem, onde os processos representam as estações de trabalho, cada qual com sua determinada capacidade.

No romance “A Meta”, Goldratt exemplifica com muita clareza que, não importa o quanto cada etapa do processo é capaz de fazer individualmente, pois o ritmo da empresa sempre será o ritmo do

processo gargalo. Ou seja, para as linhas de montagem, o conceito de gargalo define que o ritmo da linha é dependente da estação gargalo.

No caso das linhas de montagem mixadas, que fazem vários produtos distintos simultaneamente, além da relação de capacidade entre as estações de trabalho, o gargalo também depende do produto em questão, porque o conteúdo de trabalho⁹ requerido pelos produtos em cada estação é diferente (produtos mais complexos têm maior conteúdo de trabalho do que produtos mais simples).

Algumas formas de administrar as linhas de montagem mixadas para lidar com essa variedade de produtos e de conteúdo de trabalho são listadas.

- a) Dimensionar os recursos para que a linha de montagem sempre produza o produto mais complexo dentro do tempo de ciclo (nesse caso, a linha fica ociosa na parcela de tempo em que o produto mais simples está sendo produzido);
- b) Dimensionar os recursos para que a linha de montagem somente produza o produto mais simples dentro do tempo de ciclo e sempre produza o produto mais complexo em um tempo maior que o tempo de ciclo (nesse caso, quando o produto mais complexo está sendo produzido, ele se torna o gargalo da linha, gerando atrasos em todas as operações e conseqüentemente, acarretando numa redução na taxa de produção da linha);
- c) Dimensionar os recursos para que a linha de montagem produza, na média, tanto o modelo de produto mais simples quanto o modelo mais complexo dentro do tempo de ciclo (nesse caso considera-se que o “atraso” gerado nos momentos em que o produto mais complexo está sendo produzido será recuperado pela “agilidade” quando o modelo mais simples estiver sendo montado).

Para esse último caso, tradicionalmente, se tenta gerenciar a diferença de conteúdo de trabalho entre produtos que são produzidos em linha mixada organizando o sequenciamento dos produtos na linha de montagem. Por exemplo, se o produto A e o produto B são produzidos simultaneamente numa mesma linha de montagem e A tem 25% a mais de tempo total de operação que B, então a sequência de produção fica na proporção de 4 produtos A para 5 produtos B.

Ainda que essa alternativa seja viável em termos de organização da produção, ela é restringida por outras questões, como, por exemplo, a

⁹ Conteúdo de trabalho de um produto é o conjunto das operações necessárias para a montagem desse produto.

demanda. O que fazer se, além de A ter o maior conteúdo de trabalho, sua demanda também for maior que a demanda de B? Nessa situação, para manter o seqüenciamento adequado, ter-se-ia que produzir mais produtos B do que a quantidade demandada e conseqüentemente se aumentaria o estoque de produto acabado desse produto em questão. Em termos práticos, a produção além da demanda de determinados produtos para manter a proporção de seqüenciamento é ainda mais devastadora para produtos de alto valor agregado, pois faz com que a empresa tenha que dispor de alto capital imobilizado no estoque do produto acabado. Por conta desses aspectos, não se recomenda a estratégia de se produzir acima da demanda com a finalidade de manter o seqüenciamento.

Vale salientar também que, para os casos de linhas de montagem com esteiras de velocidade constante (detalhadas no item 2.2.1 “Classificação das Linhas de Montagem”), essa compensação teórica de tempo proposta pelo seqüenciamento nem sempre é perfeita, justamente por conta da velocidade constante da esteira que não pode ser acelerada quando o produto mais simples está passando.

Outro princípio da Teoria das Restrições salientado por (GUERREIRO, 1999) é que os gargalos devem governar também o inventário. Ou seja, além de governarem o fluxo inteiro, os gargalos também estabelecem os estoques, que devem ser dimensionados e localizados de forma a isolar os recursos gargalos das flutuações estatísticas. Como nas linhas de montagem os processos são interdependentes, de forma que um processo só pode ser iniciado após outro ter sido finalizado, as flutuações estatísticas podem influenciar significativamente no fluxo produtivo, conforme é mostrado na Figura 12.

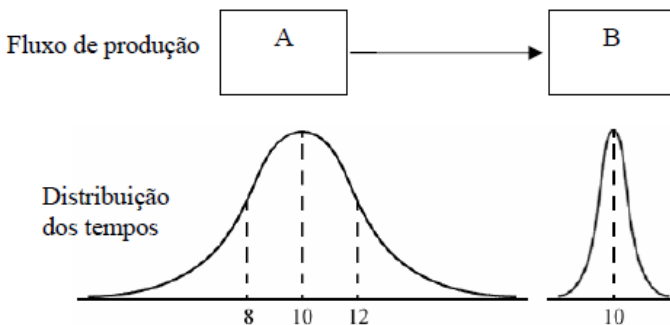


Figura 12: Distribuição dos tempos de processo.

Fonte: (CORRÊA, et al., 1996)

Embora ambos os processos mostrados na Figura 12 tenham tempo médio de processamento de 10 segundos, o processo A tem uma

variação estatística maior, o que certamente influencia na cadência do processo B, pois os atrasos tendem a se propagar ao longo da cadeia, conforme mostrado na Tabela 1.

Sequência	Processo A				Processo B			
	Tempo Programado	Tempo Real	Desvio do Processo	Desvio do Fluxo	Tempo Programado	Tempo Real	Desvio do Processo	Desvio do Fluxo
1	0- 10	0 - 12	2	2	10 - 20	12 - 22	0	2
2	10 - 20	12 - 24	2	4	20 - 30	24 - 34	0	5
3	20 - 30	24 - 32	-2	2	30 - 40	34 - 44	0	4
4	30 - 40	32 - 40	-2	0	40 - 50	44 - 54	0	4

Tabela 1: Propagação da variação estatística nos processos.

Fonte: Adaptado de (CORRÊA, et al., 1996)

Na Tabela 1, o desvio do processo A foi de 2 unidades de tempo positiva nas sequências 1 e 2 de produção e de 2 unidades de tempo para negativa nas sequências 3 e 4 de produção. Ou seja, na última sequência de produção, o processo A conseguiu corrigir sua variação e entregar a produção no tempo final programado (40 unidades de tempo). No entanto, os atrasos iniciais gerados no processo A se propagaram até o processo B. Para todas as sequências de produção, o atraso individual do processo B foi zero, mas os atrasos provocados pelo processo anterior A, influenciaram de forma que, para o fluxo, no final, o atraso foi de 4 unidades de tempo.

A solução tradicional para tratativa desse problema é o dimensionamento de estoque intermediário entre os processos. Caso o processo B fosse um gargalo, então o estoque entre A e B deve ser dimensionado de modo a absorver a variação do processo A e garantir que o recurso gargalo não ficará parado a espera de lotes vindos de outros processos (como aconteceu nas sequências 1 e 2 da Tabela 1, quando B ficou 2 unidades de tempo parado em cada sequência). Essa solução é comumente utilizada a processos produtivos isolados, porém para as linhas de montagem, o dimensionamento de estoques intermediários entre estações de trabalho não é facilmente aplicável, uma vez que aumenta o tamanho da linha – principalmente quando se

tratam de produtos grandes – e aumenta significativamente o tempo de atravessamento¹⁰ dos produtos na linha.

Segundo (GUERREIRO, 1999), a Teoria das Restrições sugere que os programas de produção devem ser feitos considerando todas as restrições simultaneamente e não sequencialmente. Expandindo esse conceito para as linhas de montagem mixadas, então os gargalos devem ser observados em relação a todas as operações de montagem e todos os produtos que compõem o mix.

2.6 PRODUTIVIDADE

O conceito de produtividade, de acordo com (SINK, et al., 1993), é definido operacionalmente como a relação entre o que é gerado por um sistema e os recursos que entraram neste sistema. Ou seja, a definição operacional de produtividade é a relação entre as saídas (*output*) sobre as entradas (*input*).

A relação entre saídas e entradas pode ser considerando todos os recursos, ou uma parte deles de cada vez, como sugere (SIEGEL, 1980) com o conceito de produtividade como “família de relações”. Isso quer dizer que, para cada unidade de entrada – ou para cada categoria de recursos – existe uma relação de produtividade.

(LAFRAIA, et al., 2002) definem a produtividade focando a relação de uma organização com seus concorrentes. Nesse contexto, os autores calculam a produtividade como o faturamento dividido pelos custos. Essa é uma medida de produtividade mais abrangente, porém são muitas as medidas de produtividade que consideram outros fatores, afim de mensurar a eficiência de processos mais específicos.

(SINK, et al., 1993) considera a produtividade um importante critério de performance pois com a análise desse indicador, se pode aprender algo sobre a eficácia, eficiência e qualidade do sistema em questão.

¹⁰ Tempo de atravessamento, no caso de linhas de montagem, é o tempo necessário para o produto percorrer a linha toda. Refere-se ao tempo que o produto necessita desde o momento que entra na primeira estação de trabalho até ter todas as suas operações de montagem completadas na última estação de trabalho.

2.6.1 Produtividade da Mão-de-obra

Em muitas indústrias como a de eletrônicos, calçadista, comunicações e bens de consumo, o processo de produção exige o uso de mão-de-obra intensiva. Dentro do processo produtivo, o processo de montagem consome parte substancial dos custos e do tempo total de produção. Como este processo é majoritariamente manual, então a maior parte dos custos são relacionados a mão-de-obra.

Utilizando o exemplo das empresas automobilísticas, (SLACK, et al., 2002) sugere que o custo da mão-de-obra em empresas montadoras equivale aproximadamente a 25% do custo total. (RAMPERSAD, 1994) cita um estudo do Departamento de Defesa Norte-Americano que aponta que a montagem representa cerca de 20% dos custos do produto.

Nesse contexto, para os sistemas de montagem com mão-de-obra intensiva, um importante indicador de eficiência é a produtividade da mão-de-obra.

Tradicionalmente, a produtividade da mão-de-obra é medida pela quantidade de produtos produzidos por hora de trabalho de 1 homem (produtos / hora-homem).

De acordo com (DAVIS, et al., 1999) o uso de ferramentas visando o aumento da produtividade das linhas de montagem tem elevado drasticamente as taxas de produção. (DAVIS, et al., 1999) ressalta que, historicamente, o foco tem sido na utilização total da mão-de-obra, de modo a minimizar o tempo ocioso dos trabalhadores.

3 HEURÍSTICA PROPOSTA

O objetivo desse capítulo é desenvolver uma heurística para configuração de linhas de montagem mixadas com mão de obra intensiva. Para facilitar a compreensão, serão apresentados alguns exemplos com fins didáticos. Adicionalmente, se sugere a comparação de diferentes conceitos de organização de sistema produtivo, aplicando, a cada um deles, a heurística proposta. As tabelas e equações sem citação de fonte são de autoria própria.

3.1 DEFINIÇÃO DA ABRANGÊNCIA DO PROBLEMA

O problema tratado neste trabalho inicia-se no entendimento da distribuição dos m modelos de produtos entre z linhas de montagens, conforme esquematiza a Figura 13.

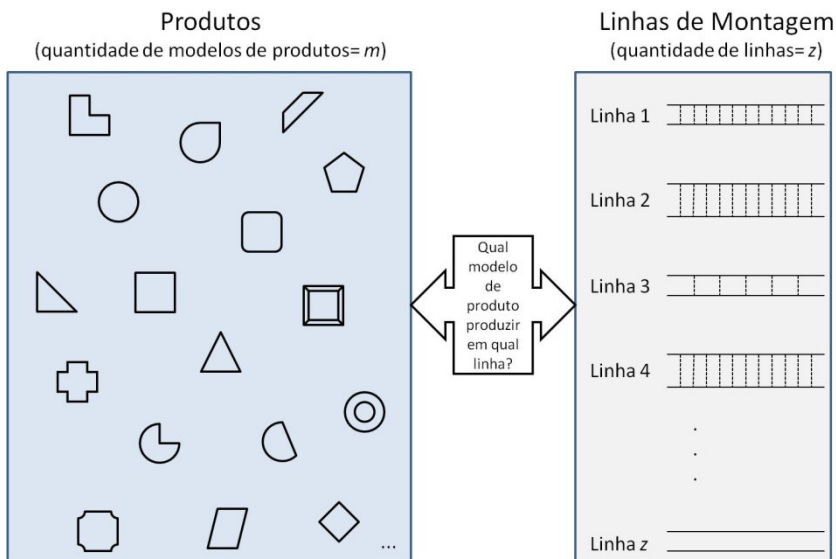


Figura 13: Problema de distribuição dos modelos de produtos às linhas de montagem.

Na Figura 13 nota-se que, além dos produtos serem distintos, as linhas de montagem também podem ter atributos diferentes, fazendo

com que nem todos os produtos possam ser produzidos em todas as linhas de montagem (restrições físicas ou de processo). Como exemplo de restrição física cita-se a adequação de uma mesma linha para a montagem simultânea de refrigeradores compactos (*frigobar*) e refrigeradores grandes *side-by-side*. Ainda que tecnicamente seja possível adequar uma mesma linha para a montagem desses dois produtos (através de elevadores, giradores, etc), as características físicas (dimensional) são tão distintas que torna essa adequação impraticável, gerando assim as restrições que impossibilitam a produção desses dois produtos no mesmo sistema de montagem.

Além das restrições físicas ou processuais, outro importantíssimo aspecto considerado na heurística proposta é a demanda dos produtos a serem produzidos. Ou seja, o problema aqui estudado trata da configuração de mix de produção (conjunto de diferentes produtos e a quantidade que cada um deles deve ser produzido) para as linhas de montagem, o que é representado pela Figura 14.

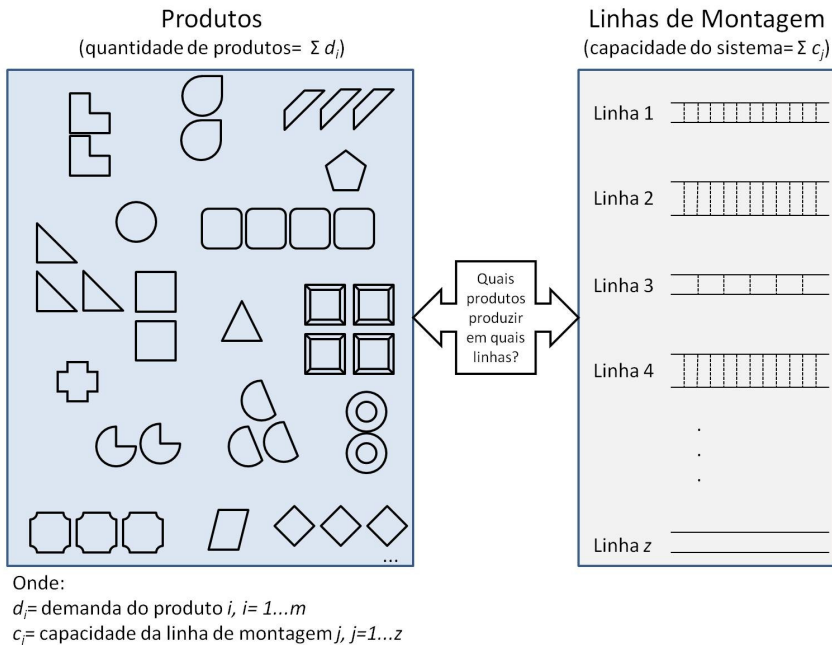


Figura 14: Problema de distribuição do mix de produtos às linhas de montagem.

Evidentemente, para aplicabilidade da solução, o somatório da demanda dos produtos alocados à determinada linha de montagem deve

ser menor ou igual à capacidade desta linha de montagem. Vale ressaltar que este trabalho considera a demanda dos produtos e a capacidade das linhas de montagem como uma variável constante.

3.2 OPERAÇÕES NECESSÁRIAS PARA A MONTAGEM DOS PRODUTOS

A montagem mixada pode exigir o projeto de linhas de montagem que trabalhem com produtos bastante diferentes, porém para todos os casos existem operações comuns, que em geral referem-se a operações necessárias para montagem das peças que compõem a estrutura base dos produtos. Para essas operações, normalmente as peças tem as mesmas funções, porém podem ter dimensional e características próprias diferentes (de acordo com o produto em questão). Por isso, as operações comuns não necessariamente apresentam tempos de operação iguais.

As operações que não são comuns para todos os produtos, são aqui chamadas de “outras operações”. São operações necessárias apenas para alguns produtos, pois são relativas à montagem de componentes adicionais, que nem todos os produtos requerem. Em relação aos tempos de operação, é natural que as outras operações apresentem maior dispersão do que as operações comuns.

3.2.1 Operações Comuns

O processo de montagem de um produto geralmente requer algumas operações essenciais. Em geral, trata-se da montagem da estrutura base do produto, que são operações necessárias para qualquer que seja o produto.

Para levantamento destas operações, sugere-se que seja feita uma matriz de incidência, onde são listadas todas as operações e todos os produtos e então se preenche com o número 1 quando o produto passa por determinada operação e com o número zero, quando o produto não passa por determinada operação, conforme apresentado na Tabela 2.

	Produto A	Produto B	Produto C	Produto D	Produto E	Produto F
Operação 1	1	0	1	1	1	0
Operação 2	1	1	1	1	1	1
Operação 3	0	1	1	0	0	0
Operação 4	0	0	0	1	1	0
Operação 5	1	1	1	1	1	1
Operação 6	1	1	1	1	1	1
Operação 7	0	1	0	0	0	1
Operação 8	0	0	0	0	1	0

Tabela 2: Matriz de incidência Operação x Produto.

Através da matriz de incidência se identifica as operações que são necessárias para 100% dos produtos. Na matriz acima, essas operações comuns seriam as Operações 2, 5 e 6, que são requeridas para a montagem de todos os produtos (A, B, C, D, E e F).

3.2.2 Outras Operações

Tão importante quanto o conhecimento das Operações Comuns, para a configuração de uma linha de montagem mixada, é o conhecimento das operações relacionadas às características que diferenciam um produto do outro. Por exemplo, haverá demasiada variação nas atividades, caso se decida montar na mesma linha de montagem um carro *pickup*, 4 portas e bastante complexo (com eletrônica no painel, sensores de reconhecimento de vagas de estacionamento, etc) e outro carro popular com 2 portas e poucos ou nenhum opcional. Em termos de equipamentos e dispositivos, em geral, é possível fazer esta montagem simultânea, com adequações na linha de montagem. No entanto, para o balanceamento das operações – e consequentemente a produtividade da mão-de-obra – quanto mais diferentes forem os produtos, mais complexo será organizar um sistema de produção que atinja elevados níveis de produtividade.

Desta forma, com a mesma matriz de incidência sugerida no item 3.2.1, as operações que serão classificadas como “Outras operações” serão todas aquelas que, pelo menos 1 produto não a requer, ou seja, operações em que o percentual de produtos que passa pela operação é

menor do que 100%. No caso exemplificado na Tabela 2, as operações 1, 3, 4, 7 e 8 seriam classificadas como Outras operações, pois não são requeridas por todos os modelos de produtos.

3.2.3 Tempos de Operação

Os tempos de operação são formados pelo somatório dos tempos dos elementos de trabalho (atividades indivizíveis) que compõem esta operação. As operações estão associadas a postos de trabalho, onde os postos de trabalho podem requerer 1 ou mais operadores (em sistemas que permitam a ajuda-mútua podem até ter fração de operadores), de acordo com o tempo da operação e o tempo de ciclo da linha de montagem em questão.

Para o levantamento dos tempos das operações, sugere-se a união das operações comuns e outras operações, ordenadas sequencialmente de acordo com as relações de precedência. Através de uma matriz relacionando as n operações com os m produtos, se faz o preenchimento do tempo necessário para realizar cada operação para cada produto específico. Os tempos das operações podem ser levantados através de cronometragem ou de análise de tempos pré-determinados. Quando o produto em questão não requerer uma operação, então esta operação para este produto deve ter tempo zero, conforme apresentado na Tabela 3.

	Produto A	Produto B	Produto C	Produto D	Produto E	Produto F
Operação 1	30	0	28	17	29	0
Operação 2	22	20	13	16	27	18
Operação 3	0	19	17	0	0	0
Operação 4	0	0	0	33	37	0
Operação 5	25	21	22	23	19	22
Operação 6	21	20	18	16	21	19
Operação 7	0	13	0	0	0	17
Operação 8	0	0	0	0	42	0

Tabela 3: Tempo das operações (segundos) para cada produto.

As operações comuns (neste caso as operações 2, 5 e 6) referem-se à montagem de peças com as mesmas funções porém que podem ser peças diferentes. As peças diferentes geram elementos de trabalho

diferentes (por ex. uma peça pode exigir a fixação de 2 parafusos enquanto outra peça com a mesma função mas outro projeto pode exigir a fixação de apenas 1 parafuso), que por sua vez, acarretam em tempos de operação diferentes. Quando o produto não requer determinada operação, certamente é porque esta operação refere-se à montagem de uma peça que, nesse caso, é ausente. As peças ausentes geram ociosidade nos postos de trabalho.

3.2.4 Detecção de Observações Atípicas

O levantamento dos tempos das operações através de cronometragem ou análises de tempos pré-determinados pode gerar dados inconsistentes, devido a erros no processo de levantamento e documentação dos dados. Por isso, sugere-se que o conjunto de dados seja analisado, para verificar sua confiabilidade. Através de métodos estatísticos pode-se detectar dados inconsistentes em relação ao restante da amostra, que são chamados de observações atípicas.

As observações atípicas podem ter origens variadas, por exemplo:

- a) Erros de manipulação/ escala/ digitação: são erros advindos da manipulação dos dados. Por exemplo, o valor coletado era 10 e digitou-se o número 100;
- b) Evento extraordinário detectável: esses dados são inconsistentes analisando-os através dos métodos estatísticos, porém o pesquisador com conhecimento no assunto consegue explicá-los.

Quando a base de dados é pequena, muitas vezes, ao trabalhar com os dados, o próprio pesquisador detecta as observações atípicas. Ainda assim, é recomendável a utilização de alguma ferramenta estatística para avaliar a consistência dos dados, especialmente quando a base de dados é grande.

Neste trabalho, como será utilizada apenas a variável tempo, a detecção das observações atípicas deve ser feita pela detecção univariada. Existem muitas formas de se fazer a detecção univariada. Aqui, será apresentada a detecção através do gráfico Box-plot sugerida por (CORRAR, et al., 2007), por ser este método de fácil utilização e bastante visual.

Para o método Box-plot, os valores fora dos intervalos apresentado na Equação 3 são considerados observações extremas.

$$Q_1 - 1,5 * (Q_3 - Q_1) \leq x \leq Q_3 + 1,5 * (Q_3 - Q_1) \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

Q_1 = 1º Quartil, intervalo onde se concentram 25% dos valores da amostra;

Q_3 = 3º Quartil, intervalo onde se concentram 75% dos valores da amostra.

Neste trabalho, como a variável analisada é o tempo, o valor mínimo não pode ser negativo. Portanto, quanto o cálculo do limite inferior for menor que zero, deve-se ajustá-lo para zero. Quando o cálculo do limite inferior for maior que zero, este deve ser mantido. Com os dados da Tabela 2, o gráfico Box-plot para um determinado produto é mostrado no Gráfico 1.

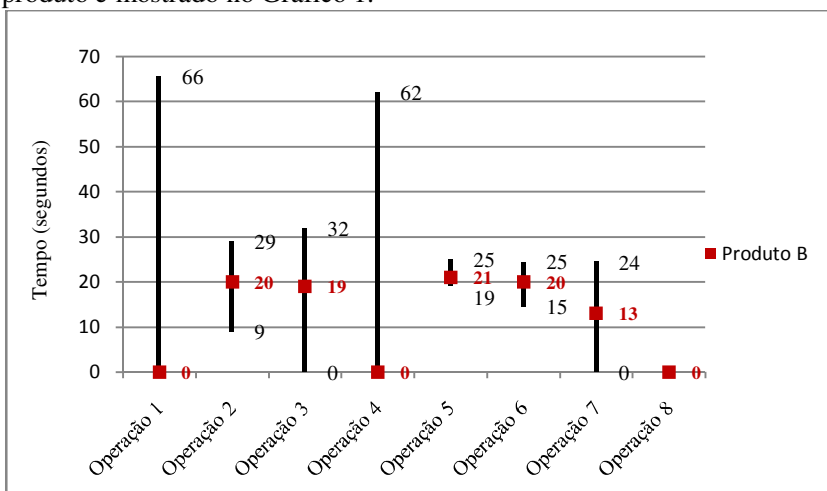


Gráfico 1: Tempos de operação do produto B e variação de tempo típica para o grupo de produtos A, B, C, D, E, F.

O gráfico mostra a variação de tempo típica para cada operação. Nota-se que as operações comuns (neste caso, as operações 2, 5 e 6) apresentam variação de tempo típica menor que as outras operações. No caso do produto B, todos os tempos de operação encontram-se dentro do intervalo especificado, ou seja, não são considerados observações atípicas. Nota-se também que a operação 8 ficou sem faixa de variação, tendo seu intervalo típico coincidindo o limite superior e o limite inferior, ambos igual a zero. Isso ocorreu pois a operação 8 é requerida

apenas por 1 dos 6 produtos (Produto E), fazendo com o que o primeiro e o terceiro quartil da amostra seja zero.

Os estatísticos têm opiniões diferentes sobre a eliminação e manipulação das observações atípicas. Alguns sugerem que sejam mantidas, a menos que se prove que as observações estão verdadeiramente fora do normal e que não são representativas. No entanto, a não eliminação ou manipulação de uma observação atípica pode gerar análises distorcidas.

Para o problema de levantamento de tempos de produção, a detecção estatística das observações atípicas serve para orientar o pesquisador, a fim de avaliar a acurácia dos dados. Por exemplo, para determinada operação cuja variação de tempo típica seja de 0 a 20 segundos e se detecte o tempo para um produto específico nesta operação de 100 segundos, sugere-se que este tempo seja investigado. Esta observação atípica pode ser oriunda de um erro de anotação / digitação, sendo que o tempo real da operação seria de 10 segundos (dentro da variação de tempo típica).

3.3 GARGALO EM LINHAS DE MONTAGEM MIXADA

O grande desafio da aplicação da Teoria das Restrições nas linhas de montagem mixada é o entendimento e a tratativa do gargalo. Por conta do mix de produtos (diferentes produtos sendo produzidos simultaneamente), a linha de montagem gera gargalos flutuantes. Ou seja, para determinado mix de produtos e para uma dada sequência de produtos na linha, o gargalo será uma estação e para o momento seguinte que a fila se move, o gargalo pode ser outra estação de trabalho ou pode ser a mesma. Conforme abordado no item 2.2.3, esse problema tradicionalmente é tratado pelo seqüenciamento da linha de montagem.

Esse problema toma proporções ainda maiores quando não é possível garantir a mesma sequência ao longo de toda a linha, ou seja, a sequência de produtos no início da linha é diferente da sequência de produtos no final da linha. Isso ocorre nos casos onde existem operações paralelas na linha de montagem que tem tempos diferentes para cada produto, então o primeiro produto da fila que entrou na estação 1 pode ter sua operação finalizada após o segundo produto da fila que entrou na estação 2, conforme é ilustrado na Figura 15 e na Figura 16.

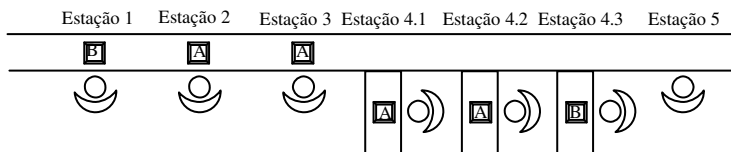


Figura 15: Sequência de produtos na linha no instante $t=0$

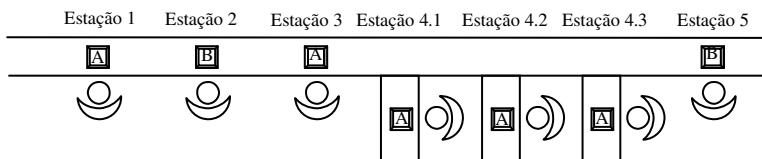


Figura 16: Sequência de produtos na linha no instante $t=t_1$

As estações 4.1, 4.2 e 4.3 são paralelas, ou seja, para ter o conteúdo de trabalho referente à operação 4, o produto passa somente por uma dessas estações. De acordo com os tempos de operação de cada produto (A e B) em cada estação, pode acontecer de, no instante $t=0$, a sequência nas estações 4.1, 4.2 e 4.3 seja AAB, porém no instante $t=t_1$ essa sequência seja AAA. Dessa forma, além de o gargalo ser flutuante, ele é dependente da sequência, que por sua vez, não é fixa.

Naturalmente, esse tipo de situação ocorre quando o tempo necessário para execução de cada operação difere muito entre os diversos produtos. Isso pode ser decorrente da montagem simultânea de produtos com requisitos técnicos diferentes (por ex. um refrigerador e um *freezer*, que apresentam características distintas e por conseqüência requisitos processuais muito diferentes) ou de produtos com os mesmos requisitos técnicos, porém com especificações muito distintas (por ex. um refrigerador compacto e um refrigerador grande de duas portas). Para ambos os casos, quanto maior for o mix de produtos oferecido e menor o número de linhas de montagem, então maior será a probabilidade dessa situação ocorrer.

Outra dificuldade da determinação dos gargalos nas linhas de montagem mixadas é que o próprio mix pode variar dentro do período, que pode ser o trimestre, o mês, a semana, ou mesmo o dia, de acordo com a estratégia de programação da produção. Quando a quantidade de produtos para serem produzidos pela mesma linha de montagem é grande, inviabilizando o nivelamento da produção dentro do tempo de ciclo, então os produtos alocados para esta linha não podem ser

produzidos todos simultaneamente. Isso ocorre devido a restrições de tempos de *setup*, logística de entrega dos componentes, espaço para os postos de trabalho e até mesmo capacidade de memorização dos operadores. Por exemplo, se uma linha de montagem é responsável pela produção de um mix de 40 produtos diferentes, dificilmente os operadores conseguem memorizar e escolher dentro do tempo de ciclo qual peça deve ser montada em cada produto – e dificilmente se conseguiria disponibilizar as peças dos 40 diferentes produtos próximas ao posto de trabalho. Por isso, restringe-se o mix, determinando uma quantidade máxima de produtos a serem montados simultaneamente. Hipoteticamente, se a quantidade máxima determinada for 10 produtos, isso significa que o nivelamento não poderá ser completo, pois inicialmente a linha estará montando 10 determinados produtos e somente quando o lote de cada um desses 10 produtos for finalizado, se poderá iniciar a montagem dos próximos produtos, até que se produza a quantidade requerida dos 40 produtos dessa linha. Ou seja, ao longo do tempo, o mix que está sendo produzido na linha muda – e com isso também mudam os gargalos.

Por isso, nesse trabalho propõe-se a disponibilização de tempo suficiente para que a linha seja capaz de produzir a quantidade determinada de produtos sem atraso em todas as estações de trabalho, qualquer que seja o mix do momento e qualquer que seja a sequência de produtos.

3.4 INDICADORES PARA CONFIGURAÇÕES DAS LINHAS DE MONTAGEM

Este trabalho propõe a utilização de 3 níveis de indicadores para direcionamento da configuração das linhas de montagem. Os indicadores serão aqui nomeados como “Tempo Total de Operação – T”, referente ao tempo total necessário para a montagem de cada produto; “Diferença de Tempo entre Produtos – DT”, que visa medir a diferença de tempo, por operação, para um par de produtos; e “Índice de Utilização do Tempo – IUT”, que objetiva medir o aproveitamento de tempo para determinado mix definido para um sistema montagem.

Utilizando duas dimensões para a classificação dos indicadores de desempenho, os indicadores anteriormente apresentados classificam-se como mostrado na Tabela 4.

Sigla	Descrição	Tipo de Decisão	Unidade de Medida
T_i	Tempo Total de Operação	Estratégico	Física
DT_{i-j}	Diferença de Tempo entre Produtos	Tático	Física
IUT	Índice de Utilização do Tempo	Operacional	Adimensional

Tabela 4: Indicadores para da configuração das linhas de montagem mixadas.

O Tempo Total de Operação é uma propriedade individual de cada produto e é bastante abrangente. Sua finalidade é caracterizar a complexidade do produto, uma vez que os produtos mais complexos demandam mais atividades de montagem que os mais simples. O indicador de Diferença de Tempo entre Produtos é uma medida de dissimilaridade de cada par de produtos. Dessa forma, é um indicador comparativo, que tem uma relação inversa com o grau de parentesco dos dois produtos. Ou seja, quanto mais semelhantes forem os produtos – em relação às operações de montagem – menor será este indicador. Finalmente, o Índice de Utilização do Tempo é bastante específico, pois leva em consideração o mix – grupo de produtos – produzido por um mesmo sistema de montagem.

A divisão dos indicadores em 3 níveis tem como objetivo facilitar a tomada de decisão, de acordo com o tipo desta, conforme a Tabela 4.

3.4.1 Tempo Total de Operação (T_i)

O indicador de Tempo Total de Operação é o indicador mais específico em relação aos produtos e o mais abrangente em relação ao mix de produção. Deve ser analisado para avaliar a complexidade do produto, pois quanto mais complexo for o produto, maior tende a ser o seu tempo total de operação.

Também é um indicador de extrema importância para a avaliação da eficácia do projeto do produto. Em relação às operações de montagem, quanto mais otimizado for o projeto do produto, menor será o tempo necessário para montá-lo. Através de metodologias como o *Design for Assembly* (DFA) – ou Projeto para a Montagem – é possível se trabalhar ainda na etapa de projeto reduzindo a quantidade de peças, facilitando os encaixes e projetando peças à prova de erros, que impedem que o operador as montem na posição incorreta. Com esse tipo de melhoria no projeto do produto, naturalmente as operações de

montagem são reduzidas e facilitadas, o que reduz o tempo total de operação para a montagem de um produto.

O tempo total de operação deve ser o primeiro filtro em relação ao agrupamento de produtos. Naturalmente, montar simultaneamente numa mesma linha um produto que tenha um conteúdo de trabalho de 1:30h e outro que tenha um conteúdo de trabalho de 2:00h, gera dificuldades pois, se os recursos forem dimensionados para o produto mais simples, estes ficarão com capacidade insuficiente quando o produto mais complexo estiver passando; ao passo que, se os recursos forem dimensionados para o produto mais complexo, estes ficarão ociosos quando o produto mais simples estiver passando. Para tratar esse problema, tradicionalmente se utiliza a média – às vezes ponderada pela demanda – do tempo necessário para executar a montagem. Assim, com os valores utilizados anteriormente (considerando a demanda dos produtos iguais), seria necessário disponibilizar 1:45h para a montagem de ambos os produtos. No entanto, nos sistemas mixados, os produtos estão sendo feitos simultaneamente e os 15 minutos de folga em relação ao produto mais simples nem sempre poderão ser utilizados para a montagem do produto mais complexo. Essa lógica é a base do conceito de gargalo, que define que a velocidade do sistema é a velocidade da operação – neste caso, do produto – mais lenta.

O indicador T_i é uma propriedade de cada produto e serve como base para a tomada de decisões estratégicas. Por exemplo, no projeto de um novo produto, quando se tem que planejar a adequação de um sistema de montagem para este produto, esse indicador poderia ser usado como base para a definição de qual das linhas irá receber o novo produto. Normalmente, nas fases iniciais do projeto ainda não se tem a informação detalhada de tempos por operações para se executar a montagem. No entanto, já se conhece, estimadamente, o tempo total de operação para o novo produto. Ao mesmo tempo, se as alterações necessárias no sistema de montagem forem significativas (ou mesmo se houver a necessidade de uma nova linha de montagem), já existe a necessidade de se definir qual delas será adequada para receber o novo produto. Portanto, esse indicador pode ser usado como referência, para conceituar como deve ser (tamanho da linha, quantidade de estações de trabalho, etc) a linha de montagem que o produzirá. Seu cálculo é apresentado na Equação 4.

$$T_i = \sum_{o=1}^k t_{oi} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

t_{oi} = tempo da operação o para o produto i .

A relevância da medida de Tempo Total de Operação está na caracterização do grau de complexidade da montagem do produto, através da mensuração do conteúdo de trabalho total demandado por cada produto.

3.4.2 Diferença de Tempo entre Produtos (DT_{i-j})

A Diferença de Tempo entre Produtos avalia a variação de tempos em módulo, operação a operação, entre cada par de produtos.

Caracteriza-se por ser um indicador de nível tático pois deixa as decisões mais precisas, em relação àquelas tomadas com base no Tempo Total de Operação. Ele é aplicável para as situações onde se deseja analisar a relação de tempos de cada operação para os produtos principais, porém ainda não existe a necessidade de análises detalhadas com todo o portfólio de produtos. Especialmente nos casos em que as linhas montam simultaneamente muitos produtos diferentes com demandas muito baixas, esse indicador é interessante, pois permite a análise entre apenas os produtos mais representativos, em relação à demanda.

Como exemplo de situação prática onde o DT é útil, cita-se o problema de trocar um produto de linha de montagem. Nesse caso se avalia a diferença de tempo entre este produto e o principal produto de cada uma das outras linhas, direcionando a alocação do novo produto conjuntamente com aquele que apresentou a menor diferença de tempo. Caso esta alocação não seja possível, devido à falta de capacidade da linha ou investimento muito alto para adequações de processo, é possível, através desse parâmetro, estimar o impacto na diferença de tempo que a mudança de linha desse produto poderá gerar. Naturalmente, quanto maior for a diferença de tempo entre produtos, mais complexo fica o balanceamento dos postos de trabalho e consequentemente, pior fica a produtividade da força de trabalho.

Matematicamente, a diferença de tempo entre produtos é calculada através do somatório das diferenças em módulo. Dessa forma, a equação para quantificar a variação de tempo entre um produto e outro, levando em consideração todas as operações que ambos requerem, está representada na Equação 5. Nesta equação, quando um produto não requer determinada operação, então o tempo da operação é considerado zero.

$$DT_{i-j} = \sum_{o=1}^k |t_{oi} - t_{oj}| \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

DT_{i-j} = Diferença de tempo entre os produtos i e j ;

t_{oi} = tempo da operação o para o produto i ;

t_{oj} = tempo da operação o para o produto j ;

k = número total de operações de montagem.

Para exemplificar uma forma de cálculo da medida de diferença de tempo entre os produtos, foi elaborado o exemplo mostrado na Tabela 5, baseado nos tempos originais apresentados na Tabela 3. Tabela 5: Tabela para cálculo da Diferença de Tempo entre produtos.

Nesta tabela, se faz o cálculo da diferença de tempo em módulo para cada operação entre cada par de produtos e posteriormente, o somatório da diferença de tempos para todas operações entre o par de produtos em questão (linhas cinzas), gerando a matriz $n \times n$ com a Medida de diferença de tempo entre os produtos (Tabela 6).

	Produto A	Produto B	Produto C	Produto D	Produto E	Produto F
Produto A	0	69	34	59	91	56
Produto B	69	0	53	92	150	27
Produto C	34	53	0	67	117	68
Produto D	59	92	67	0	78	73
Produto E	91	150	117	78	0	139
Produto F	56	27	68	73	139	0

Tabela 6: Matriz com o indicador $DT_{i,j}$.

Nota-se que esta matriz é quadrada de ordem n , onde n é o número de produtos e também deve ser uma matriz simétrica, ou seja, a diferença de tempo entre o Produto A e o Produto B é a mesma diferença de tempo entre o Produto B e o Produto A.

Utilizando os dados do exemplo e a situação hipotética de ter que retirar o Produto A da linha de montagem na qual este é produzido atualmente para produzi-lo em outra linha, então o direcionamento seria para produzi-lo conjuntamente com o Produto C, pois este par apresenta a menor diferença de tempo.

3.4.3 Índice de Utilização do Tempo (IUT)

O Índice de Utilização do Tempo (*IUT*) refere-se ao mix de produção, por isso é um indicador bastante específico, uma vez que leva

em consideração, além do tempo de cada operação, as demandas. Esse indicador representa quanto de tempo efetivamente está sendo utilizado para a montagem dos produtos.

Este índice foi formulado baseando-se na afirmação de (DAVIS, et al., 1999), que considera que as empresas focam a utilização total da mão-de-obra, de modo a minimizar o tempo ocioso dos trabalhadores.

A conceituação fundamental para formulação desse indicador é a Teoria das Restrições e o conceito de gargalo, com a definição de que a velocidade do sistema é a velocidade do processo mais lento.

Para que a alternativa de programação das operações através do tempo médio apresentada no item 2.2.3 seja viável, o produto mais complexo deve demandar mais tempo em todas as operações e o produto mais simples ser mais rápido em todas as operações, ou num arranjo perfeito de sobrecarga e alívio. Assim, definindo-se a sequência adequada de produtos, se tem a oportunidade de recuperação do tempo. No entanto, nas linhas de montagem mixadas nem sempre o gargalo do momento é determinado pelo produto mais complexo, pois, para determinada operação, um produto mais simples pode requerer mais tempo. Com os dados da Tabela 5 será exemplificado o tempo necessário para a sequência de produção B-C-D-E-F-A na operação 1, conforme Tabela 7.

Produto	B	C	D	E	F	A
Operação 1	0	28	17	29	0	30

Tabela 7: Tempo necessário para a produção da sequência B-C-D-E-F-A na operação 1.

O tempo médio da operação 1 é 17,33 segundos, e os produtos C, E e A requerem mais tempo do que o tempo médio, no entanto os produtos A e C não são os produtos mais complexos ($T_A= 98$ segundos e $T_C= 98$ segundos, sendo que o produto mais complexo é o E com $T_E= 175$ segundos).

Entendendo a linha de montagem como uma cadeia, onde as operações são sequenciais, então os atrasos gerados em cada operação que momentaneamente é o gargalo, não podem mais ser recuperados, tendo um efeito de propagação dos atrasos ao longo da cadeia.

Utilizando dados Tabela 5 (re-ordenados na Tabela 8), será exemplificada a relação entre a programação das operações pelo tempo médio de operações e o tempo efetivamente requerido para a execução da operação ao longo da linha de montagem.

	Produto A	Produto B	Média
Operação 1	30	0	15
Operação 2	22	20	21
Operação 3	0	19	9,5

Tabela 8: Tempos de operação por produto (resumidos da Tabela 5).

Para definir o tempo de operação programado, utilizou-se a média de tempo de cada operação. Por exemplo, na média, a operação 1 requer 15 segundos, portanto, o tempo programado para esta operação, qualquer que seja o produto, foi de 15 segundos. O tempo inicial programado de cada operação é o máximo entre (1) tempo final da mesma operação para o produto anterior e (2) o tempo final para o produto em questão na operação anterior. Com isso, para os dados acima mostrados, os tempos programados e realizados para cada operação ficaram conforme mostrado na Tabela 9.

Produto	Operação 1					Operação 2					Operação 3				
	Tempo Programado		Tempo Realizado		Desvio	Tempo Programado		Tempo Realizado		Desvio	Tempo Programado		Tempo Realizado		Desvio
	Inicial	Final	Inicial	Final		Inicial	Final	Inicial	Final		Inicial	Final	Inicial	Final	
A	0	15	0	30	15	15	36	30	52	16	36	45,5	52	52	6,5
B	15	30	30	30	0	36	57	52	72	15	57	66,5	72	91	24,5

Tabela 9: Comparação entre tempo programado e realizado para 2 produtos numa linha de montagem mixada.

Para esse exemplo didático de apenas 2 produtos e 3 operações, é notável que a programação das atividades pelo tempo médio não é possível de ser cumprida na prática, sem que se exija o sequenciamento. Ao final dessas 3 operações, o produto B encontra-se 24,5 segundos atrasados em relação ao seu tempo programado. Essas discrepâncias tendem a aumentar quando maior for a Diferença de Tempos entre Produtos, que nesse caso é de 51 segundos.

Como já comentado, a alternativa do sequenciamento envolve a manipulação da demanda, o que não se pretende fazer neste trabalho.

Dessa forma, propõe-se aqui que seja disponibilizado tempo suficiente para que, qualquer que seja o produto que se esteja montando, a operação seja executada sem gerar atraso na operação seguinte. Por isso, este trabalho propõe a programação das operações pelo maior tempo requerido entre todos os produtos que serão produzidos simultaneamente na linha.

O indicador proposto para a medição da utilização do tempo para as configurações de mix avalia a diferença entre (1) o tempo realmente necessário para realizar cada operação para o grupo de produtos que compõem o mix, e (2) o tempo provável disponível para a realização da operação – que é o maior tempo entre todos os produtos alocados à mesma linha de montagem. Essa diferença de tempo representa o quanto, teoricamente, haverá de utilização de tempo, de acordo com o mix da linha. Para um melhor entendimento é apresentado um exemplo na Tabela 10.

Operação \ Produto	Produto A	Produto B	Produto C	Produto D	Produto E	Produto F	Maior tempo
Operação 1	30	0	28	17	29	0	30
Operação 2	22	20	13	16	27	18	27
Operação 3	0	19	17	0	0	0	19
Operação 4	0	0	0	33	37	0	37
Operação 5	25	21	22	23	19	22	25
Operação 6	21	20	18	16	21	19	21
Operação 7	0	13	0	0	0	17	17
Operação 8	0	0	0	0	42	0	42
TOTAL	98	93	98	105	175	76	218
IUT do produto	45%	43%	45%	48%	80%	35%	

Tabela 10: Utilização do tempo para cada produto para o Mix A, B, C, D, E e F.

A Tabela 10 exemplifica que será disponibilizado 30 segundos para que a operação 1 seja realizada. Caso contrário, quando o produto A estiver passando pela(s) estação(ões) que faz(em) esta operação, o

operador não conseguirá finalizar sua tarefa e irá atrasar as demais estações ou deixar que o produto vá para a estação seguinte com as atividades incompletas. Esse raciocínio é o mesmo para todas as operações.

A somatória dos tempos mostra que, embora o tempo total para a montagem de um produto seja, no máximo 175 segundos, a linha deverá ter seus recursos planejados para um conteúdo de trabalho de 218 segundos, a fim de evitar os gargalos flutuantes e a propagação dos atrasos pela cadeia. Com isso o aproveitamento do tempo quando os produtos estão sendo produzidos varia de 35% a 80%, de acordo com o produto em questão

No entanto, a demanda é uma variável importantíssima para garantir a aplicabilidade da solução. Portanto, para a formulação do indicador IUT do mix, propõe-se a ponderação do aproveitamento do tempo de cada produto pela demanda, pois este desperdício de tempo só ocorre nos momentos em que os produtos estão sendo produzidos. Nesse exemplo, se o produto E tiver alta demanda, como sua utilização do tempo é melhor, a linha terá menor desperdício de tempo. A situação se inverte caso o produto F seja o modelo mais demandado da linha, pois sua utilização é a mais baixa de todas, significando então que, na maior parte do tempo haveria maior índice de desperdício de tempo para este mix.

	Produto A	Produto B	Produto C	Produto D	Produto E	Produto F	IUT do mix
Demanda	20	5	5	10	50	10	100
IUT (%)	45	43	45	48	80	35	62

	Produto A	Produto B	Produto C	Produto D	Produto E	Produto F	IUT do mix
Demanda	20	5	5	10	10	50	100
IUT (%)	45	43	45	48	80	35	44

Figura 17: Índice de Utilização do Tempo com base em demandas diferentes.

Matematicamente, o cálculo do IUT do mix é representado pela Equação 6.

$$IUT_{Mix} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{T_i}{\sum_{i=1}^k \text{maior}(t_{oi})} * \frac{D_i}{\sum_{i=1}^n D_i} \right) \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde:

IUT_{Mix} = Índice de Utilização de Tempo para o mix;

t_{oi} = tempo da operação o para o produto i ;

D_i = Demanda do produto i ;

n = total de produtos i , $i \in \text{Mix}$;

k = total de operações.

No exemplo anterior fica evidente a influência da demanda no IUT do mix. Ou seja, para o mesmo grupo de produtos alocados a determinada linha de montagem, o aproveitamento do tempo varia de acordo com a demanda, resultando em maior ou menor eficiência do sistema. Isso mostra que a definição de qual grupo de produtos será produzido por qual linha de montagem é dinâmica, e significativas mudanças de demanda podem gerar agrupamentos diferentes dos originais.

3.5 DEFINIÇÃO DO MIX DE PRODUTOS PARA LINHAS DE MONTAGEM

A definição dos grupos de produtos a serem produzidos simultaneamente numa linha de montagem mixada com mão-de-obra intensiva é um problema de grande abrangência. Além das características técnicas como operações a serem desempenhadas em cada produto, tempos dessas operações, capacidade instalada, demanda dos produtos e restrições processuais, na prática industrial, muitos outros aspectos são levados em consideração. Um exemplo bastante usual dessas situações é quando há queda brusca na demanda o suficiente para determinar um período de férias ou desligamento de uma linha de montagem. Analisando-se agrupadamente a demanda de todos os produtos, se verifica que houve queda relativa à capacidade de uma linha inteira, ou seja, não há mais a necessidade de se trabalhar com todas as linhas em funcionamento. No entanto, dificilmente a queda da demanda foi exclusivamente em relação aos modelos que estão alocados a uma única linha de montagem. Pode acontecer, inclusive, de alguns modelos terem tido acréscimo na demanda e ser economicamente interessante a manutenção da produção deles. Mas caso um desses

produtos que tiveram acréscimo na demanda for produzido justamente na linha que, por determinação, irá parar momentaneamente e a empresa definir que não quer interromper a produção dele, o mesmo será realocado para algum outro sistema de montagem. Assim como esse exemplo, existem tantas outras situações práticas que forçam a produção de um determinado modelo em uma linha de montagem específica, mesmo que não seja a melhor alternativa sob o ponto de vista de eficiência do processo de montagem.

Por conta dessas situações, esse trabalho apresenta uma heurística para configuração de linhas de montagem, que permite ao usuário fazer a definição de “produto-referência”¹¹. Desta forma, torna-se possível pré-alocar tanto o produto-referência quando outros produtos a uma determinada linha de montagem. Então, são feitas análises exaustivas das combinações para aqueles produtos que não foram previamente definidos. Com isso, existe a flexibilidade de direcionar alguns modelos de produtos a determinadas linhas de montagem, conjuntamente com as análises de configuração de mix que melhorem os indicadores e tragam benefícios para a eficiência do processo de montagem.

Serão apresentadas diversas abordagens, cada um delas propondo um critério diferente para se definir qual será o produto-referência para cada linha de montagem. A partir dessa definição, será gerado um número grande de combinações possíveis de mix para cada linha de montagem, variando aqueles modelos de produtos que não foram previamente alocados. Por fim, consolidam-se as combinações de mix de todas as linhas de montagem conjuntamente, de modo que um produto só possa ser alocado a uma linha de montagem.

Todo o procedimento leva em consideração as seguintes premissas:

- a) Quantidade de linhas de montagem pré-definidas;
- b) Capacidade das linhas de montagem finita e constante;
- c) Demanda dos produtos pré-determinada e constante;
- d) Capacidade de cada linha de montagem igual ou maior do que o somatório da demanda dos produtos a ela alocados;
- e) Um produto só pode ser alocado a uma linha de montagem;
- f) Programação das operações para atender um tempo de ciclo constante, para todos os produtos alocados à mesma linha de

¹¹ Refere-se ao modelo de produto selecionado heurísticamente para ser o modelo considerado como “padrão” de uma linha de montagem.

montagem, atendendo sem atraso todas operações para todos produtos.

3.5.1 Dados de Entrada

Os dados de entrada necessários para aplicação da heurística aqui proposta são:

- a) Capacidade constante de cada linha de montagem;
- b) Demanda constante de cada produto;
- c) Restrições físicas ou de processo (qual produto não pode ser produzido em qual linha de montagem);
- d) Tempo necessário para execução de cada operação, para cada produto;
- e) Alocação prévia dos Produtos-referência e demais produtos previamente alocados (facultativo).

3.5.2 Algoritmo

O algoritmo foi desenvolvido em Visual Basic, com uma lógica simples. O objetivo do algoritmo foi gerar um número grande de configurações de mix possíveis (que atendam todas as restrições) para se comparar, para a mesma capacidade global, qual a configuração de mix que permita melhor utilização do tempo.

Para gerar o mix de produtos a ser produzido em cada linha de montagem, inicialmente o procedimento cria uma semente aleatória. Uma semente refere-se à alocação de todos os produtos, para alguma linha de montagem. A opção por gerar uma semente aleatória e não iniciar com uma solução previamente conhecida foi justamente retirar a interferência de soluções comumente já conhecidas, uma vez que o procedimento é fortemente impactado pela semente inicial.

A semente aleatória inicial, leva em consideração os produtos-referência e demais produtos previamente alocados, as restrições de processo e as restrições de capacidade e demanda. Ou seja, mesmo sendo aleatória, a semente inicial atende todas as restrições.

Após encontrar uma semente aleatória que atenda todas as restrições, o programa calcula o Índice de Utilização do Tempo para esta configuração de mix. A partir dessa semente aleatória inicial, faz-se uma série de permutações dos produtos entre linhas de montagem, sempre checando as restrições. Ao se permutar um produto de linha de

montagem e atender todas as restrições, então calcula-se o IUT para essa nova configuração de mix (diferente da semente aleatória inicial). Se o IUT for maior que o IUT inicial, essa nova configuração é armazenada, caso contrário, é abandonada. Então, prossegue-se com as permutações baseando-se sempre na última configuração que gerou o melhor IUT até o momento, até que não se encontre mais configurações diferentes de mix que atendam todas as restrições e obtenham IUTs melhores. Nesse momento, então outra semente aleatória é gerada e o procedimento é repetido para essa segunda semente. O fluxograma do algoritmo é mostrado na Figura 18.

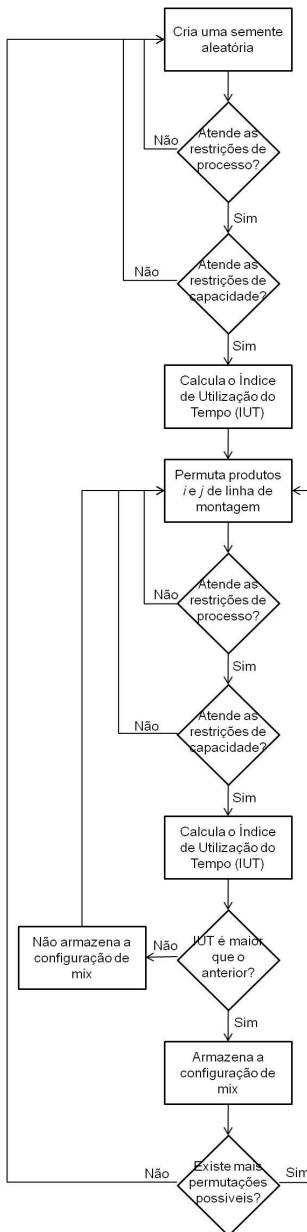


Figura 18: Algoritmo de Definição do Mix de Produtos para Linhas de Montagem Mixadas.

Nota-se que o algoritmo somente trabalha com configurações de mix – tanto as aleatórias iniciais quanto as configurações melhoradas – que atendam a todas as restrições. Outro ponto importante é o armazenamento somente das configurações que apresentem Índice de Utilização do Tempo melhores do que aqueles já encontrados para configurações anteriores oriundas da mesma semente aleatória.

3.5.3 Dados de Saída

Como dado de saída apresenta-se um conjunto de configurações de mix, onde, em cada configuração, todos os produtos estão alocados para alguma linha de montagem. Todas as configurações apresentadas atendem: restrições de processo, restrições de capacidade \times demanda e pré-alocação dos produtos-referência e demais produtos previamente alocados. Ou seja, todas as configurações geradas são possíveis de serem implementadas.

Ordenando os dados graficamente, é possível notar claramente as sementes aleatórias e as configurações melhoradas de cada semente.

3.6 ABORDAGENS DE DEFINIÇÃO DE PRODUTOS-REFERÊNCIA

Conforme apresentado anteriormente, o algoritmo de definição de mix para linhas de montagem mixadas permite ter como dado de entrada a definição de produtos-referência, para uma ou mais linhas de montagem. No entanto, a definição de quais serão esses produtos pode ser feita levando em consideração vários aspectos. Por isso, serão aqui sugeridas algumas abordagens diferentes para a definição dos produtos-referência. No entanto, deve-se esclarecer que essas abordagens são independentes do algoritmo, ou seja, nada impede que se definam os produtos-referência com base em outros critérios aqui não apresentados e se utilize o algoritmo para gerar as configurações de mix.

3.6.1 Abordagem 1: Produtos-referência de Maior Demanda

A abordagem de produtos-referência de maior demanda parte da quantidade de linhas de montagens disponíveis (z). Tendo como base essa quantidade, então seleciona-se o mesmo número de produtos-

referência, que neste caso serão os z produtos de maior demanda dentro o grupo de produtos analisados.

3.6.2 Abordagem 2: Faixas de Tempos-referência

A abordagem proposta de Produtos-referência igualmente distribuídos tem como objetivo definir os produtos-referência tomando como parâmetro faixas de tempo igualmente espaçadas. Essa abordagem baseia-se em um dos indicadores propostos no item 2.6: o tempo total de operação. Através da diferença de tempo total de operação entre o produto mais complexo e o mais simples (em relação às operações de montagem), dividida pela quantidade de linhas de montagem disponíveis, encontra-se as faixas de tempos-referência.

Teoricamente, essa abordagem tende a concentrar em cada linha de montagem produtos com tempo semelhante ao daquele que foi definido como produto-referência. Como cada linha de montagem tem seu produto-referência com conteúdo de trabalho (tempo) igualmente espaçado, teoricamente as linhas de montagem tendem a ter o seu tempo total de operação médio (relativo ao mix) igualmente espaçado entre si. Para a definição dos produtos-referência esta abordagem, deve-se iniciar pelo cálculo de faixas de tempos-referência. O cálculo da faixa deve ser feito através da Equação 7.

$$F_{tr} = \frac{T_i - T_j}{z} \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde:

F_{tr} = faixa de tempo-referência;

T_i = Tempo total de operação para montagem do produto i (mais complexo do mix);

T_j = Tempo total de operação para montagem do produto j (mais simples do mix);

z = número de linhas de montagem disponíveis.

O cálculo dos tempos-referência diferem para o primeiro tempo-referência e os demais, conforme é mostrado na Equação 8 (primeiro tempo-referência) e na Equação 9 (demais tempos-referência).

$$tr_1 = T_j + \frac{F_{tr}}{2} \quad (\text{Eq. 8})$$

$$tr_k = tr_{k-1} + F_{tr} \quad (\text{Eq. 9})$$

Onde:

tr_k = tempo-referência k , onde $k = (2, \dots, z)$

Num exemplo hipotético de 6 produtos e 3 linhas de montagem, sendo o produto F o mais simples do mix, com menor tempo total de operação (76 unidades de tempo) e o produto E o mais complexo do mix, com o maior tempo total de operação (175 unidades de tempo), então a faixa de tempo-referência será de 33 unidades de tempo. Assim, o primeiro tempo-referência será de 93 ($76 + 17$), o segundo tempo-referência será de 126 ($93 + 33$) e o terceiro tempo-referência será de 159 ($126 + 33$).

No Gráfico 2 é mostrada graficamente a relação entre as faixas de tempos-referência e o tempo total de operação dos produtos.

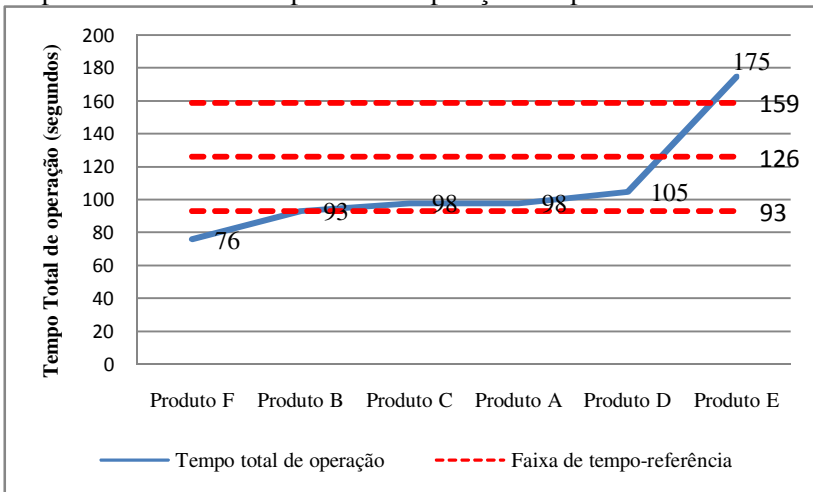


Gráfico 2: Tempo total de operação e tempos-referência.

A partir dos tempos-referência, buscam-se os modelos que tenham tempo total de operação mais semelhante aos tempos-referência, para então serem os produtos-referência. No exemplo anterior, os 3 produtos referência selecionados são apresentados na Tabela 11.

		Produto referência	Tempo total de operação
Tempo-Referência 1	93	B	93
Tempo-Referência 2	126	D	105
Tempo-Referência 3	159	E	175

Tabela 11: Produtos-referência selecionados de acordo com o tempo referência.

3.6.3 Abordagem 3: Produção Focada

A estratégia da Produção focada ou Fábrica Focada foi proposta em 1974 por Wickham Skinner, sugerindo que uma empresa deve se “concentrar numa combinação estreita de produtos para um nicho de mercado particular”. Estendendo esse conceito para a problemática de alocação de produtos às linhas de montagem, uma opção é realizar a configuração das linhas fazendo a alocação dos produtos de forma desigual no que tange a eficiência das linhas de montagem. Assim poderiam ser obtidas grandes melhorias alocando-se poucos modelos de produtos de alto volume a linhas específicas, deixando vários modelos de produto de baixo volume para ser agrupados numa área ineficiente da planta. Esta estratégia sugere que as linhas de montagem com poucos produtos devem ser tratadas como sistemas altamente eficientes, onde os métodos de trabalho devem ser especificados com criteriosidade para maximizar a produtividade e a mão-de-obra ser altamente especificada, com treinamentos para cumprimento do método e auditorias aplicadas com rigor, a fim de garantir a produtividade projetada. Já nas linhas de montagem com grande quantidade de produtos diferentes, o método de trabalho precisa ser mais genérico e o treinamento da mão-de-obra ser direcionado para formar operadores polivalentes.

Baseando-se nessas características, a abordagem da Produção focada irá propor o agrupamento de produtos de alta demanda a algumas linhas, fazendo com que estas sejam linhas com pouca variedade de modelos – denominadas “linhas de montagem focadas” – e agrupar uma grande quantidade de modelos ao menor número de linhas de montagem, fazendo com que estas sejam linhas “super-compartilhadas”.

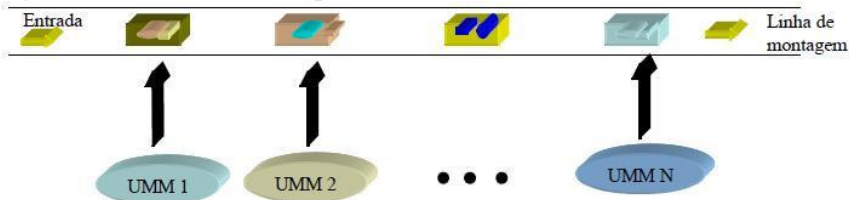
Analisando-se o gráfico de Pareto, seleciona-se 20% dos produtos que correspondem a 80% da demanda, para que estes possam ser alocados a 80% das linhas de montagem, deixando a grande maioria dos produtos (80% dos produtos, cujas demandas são baixas) para serem concentrados em um número pequeno de linhas de montagem (20% das linhas).

3.6.4 Abordagem 4: Produção Modular

De acordo com (RODRIGUES, 2005) o sistema de produção modular prioriza a diferenciação do produto final e rapidez de montagem, através da montagem de unidades modulares. Para esta abordagem de sistema produtivo, os módulos são montados

previamente, na própria empresa ou até mesmo em empresas fornecedoras, e chegam na linha de montagem numa sequência coordenada e numa janela de tempo bastante estreita.

Este arranjo de manufatura é especialmente utilizado pelas montadoras de automóveis. No caso da indústria automobilística, em geral, os módulos são feitos por empresas parceiras, que se localizam o mais próximo possível da montadora – muitas vezes até no mesmo parque fabril – a fim de evitar tempos longos de transporte e facilitar a rapidez e confiabilidade das informações e do próprio processo. Na Figura 19 é mostrado um esquema da manufatura modular.



UMM N= Unidade de Montagem Modular N

Figura 19: Sistema de montagem modular

Fonte: Adaptado de Fredriksson *apud* (RODRIGUES, 2005)

Esse esquema sugere que as unidades de montagem modular basicamente executem a pré-montagem de subsistemas, sendo estes agregados ao produto final.

Na prática, para viabilizar este desenho, deve-se analisar quais operações estão sendo feitas na linha de montagem que poderiam ser feitas em unidades de montagem anexas às linhas ou até mesmo em fornecedores. Em geral, estas são atividades relacionadas à montagem de sub-conjuntos, ou seja, operações de montagem preliminares antes que o sub-conjunto seja inserido no produto.

4 ESTUDO DE CASO

Neste capítulo será apresentado um estudo de caso aplicando as 4 abordagens da heurística para configuração de mix em linhas de montagem mixadas com mão-de-obra intensiva.

Primeiramente, será feito uma breve apresentação da empresa onde o estudo foi realizado e da problemática de alocação dos produtos às linhas de montagem. Depois, são apresentados os resultados obtidos utilizando o algoritmo proposto para as 4 abordagens apresentadas, e finalmente são apresentados os resultados comparando as abordagens.

4.1 APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

O estudo de caso aqui apresentado foi realizado numa empresa multinacional de linha branca, na planta produtora de refrigeradores e *freezers*. No escopo deste trabalho, foram analisados 47 produtos diferentes de refrigeradores e *freezers* e um total de 80 operações de montagem.

Atualmente, para a produção desses produtos, a empresa conta com 6 linhas de montagem, que trabalham de forma mixada, ou seja, vários modelos são produzidos simultaneamente.

Uma grande parcela do custo de montagem refere-se ao custo da mão-de-obra, exigindo desta forma controle rigoroso da produtividade desta. No entanto, sabe-se que a alocação de diferentes produtos no mesmo sistema de montagem naturalmente gera uma improdutividade, relacionada com a diferença entre os produtos.

A alocação dos produtos às linhas de montagem é feita pela tradição ou pela disponibilidade momentânea de capacidade. No que tange às características físicas dos produtos, tradicionalmente os produtos são agrupados de acordo com a dimensão de sua plataforma base (largura x comprimento). Pode-se dividir o grupo de produtos aqui analisados em 3 grupos de tamanhos de plataforma: (1) produtos pequenos (largura da plataforma de 400 a 550mm); (2) produtos médios (largura da plataforma de 551 a 630mm); (3) produtos grandes (largura da plataforma acima de 631mm). Naturalmente, são levadas em consideração algumas restrições de processo (principalmente aquelas relacionadas à capacidade dos equipamentos), a demanda e a capacidade momentânea das linhas de montagem. Porém, como regra geral, o

questo tamanho da plataforma é o principal atributo analisado para se definir os grupos de produtos a serem produzidos na mesma linha de montagem.

Todas as linhas de montagem da empresa analisada seguem o mesmo conceito de arranjo físico e configuração de produção. Quanto ao número de produtos, referem-se a linhas de montagem multi-modelos mixadas; quanto ao *layout*, seguem o modelo linear com estações de trabalho sequenciais e algumas estações paralelas; e quanto a movimentação dos produtos, são linhas de montagem majoritariamente sincronizadas (passo constante), porém com algumas estações assincronizadas, em que o operador sinaliza o final de sua operação para liberar o produto para a próxima operação. Outra característica importante das linhas de montagem estudadas é a presença de 2 grandes equipamentos ao longo da linha de montagem. São as injetoras de poliuretano (espuma que faz a isolamento entre a parte interna do refrigerador e o meio ambiente) de gabinetes e as injetoras de poliuretano de portas. Na Figura 20 é apresentado um *layout* esquemático das linhas de montagem.

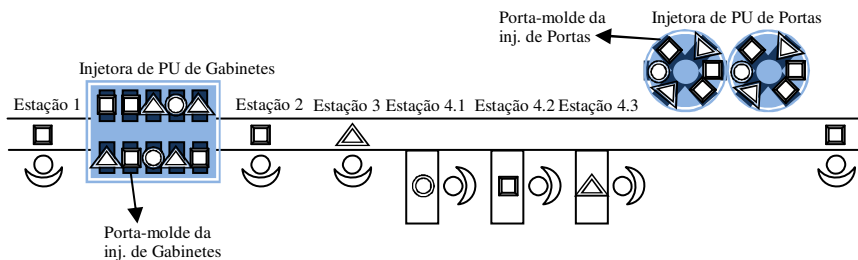


Figura 20: Esquema simplificado das linhas de montagem de refrigeradores estudadas.

Em geral, as injetoras de poliuretano de gabinetes contam com 10 porta-moldes independentes, que podem ser configurados com diferentes moldes (tipos) de produtos. As injetoras de PU de portas normalmente possuem mais porta-moldes do que as injetoras de gabinetes (para balancear a capacidade produtiva, uma vez o tempo de cura de PU de portas é maior). Ambas as injetoras de PU são equipamentos grandes, com características de produção em lote (tempos de *setup* longos, acima de dois dígitos).

As estações de trabalho são majoritariamente sequenciais, porém existem situações onde as estações de trabalho são paralelas,

exemplificadas na Figura 20 pelas estações 4.1, 4.2 e 4.3. Neste caso, o produto passa apenas por uma destas estações para ter a operação 4 completada. Nas linhas de montagem de refrigeradores e *freezers* essa configuração é utilizada para operações que são preferencialmente executadas por uma só pessoa/ máquina por completo, como é o caso da injeção e cura do poliuretano, da solda-brasagem do compressor e da injeção de gases.

4.2 ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA

Para a montagem do refrigerador existem algumas operações comuns, necessárias para todos os produtos. Dentre as 80 operações analisadas, 36% (29) são operações comuns, necessárias para a montagem de 100% dos modelos de refrigeradores e *freezers*. Na Tabela 12 apresenta-se a lista das operações que sempre se repetem.

Nº da operação	Descrição da operação	Percentual de produtos que requerem a operação
1	Fixar dobradiça 1	100%
2	Montar fundo inferior	100%
3	Fixar Rede Elétrica	100%
4	Montar fundo trazeiro	100%
14	Injetar PU 1	100%
17	Retirar dispositivos	100%
18	Fixar Base do Compressor	100%
28	Soldar evaporador	100%
32	Fixar gaveta	100%
33	Fixar condensador	100%
35	Fixar compressor	100%
37	Fixar Fio	100%
41	Preparar Chapa grande	100%
43	Preparar Pannel grande	100%
44	Injetar PU 2	100%
50	Fixar Porta Refrigerador	100%
51	Fixar Dobradiça 2	100%
58	Soldar Compressor	100%
59	Carregar Gás volátil	100%
63	Testar vazamento de gás volátil	100%

Nº da operação	Descrição da operação	Percentual de produtos que requerem a operação
64	Realizar vácuo	100%
65	Carregar Gás 2	100%
66	Testar Vazamento 2	100%
67	Testar Vazamento 3	100%
69	Realizar teste de segurança	100%
70	Realizar teste de rendimento	100%
71	Testar Vazamento 4	100%
72	Posicionar documentações	100%
80	Colocar embalagens	100%

Tabela 12: Lista das operações comuns para os refrigeradores e *freezers*.

Dentre as operações analisadas, 51 delas foram classificadas como outras operações por não serem necessárias para a montagem de todos os produtos, mas serem necessárias para a montagem de, pelo menos, 1 dos produtos (refrigeradores ou *freezers*). Estas operações são mostradas na Tabela 13.

Nº da operação	Descrição da operação	Percentual de produtos que requerem a operação
5	Fixar tubo aquecedor	64%
6	Fixar Caixa pequena	79%
7	Fixar divisor central	53%
8	Fixar dobradiça 3	45%
9	Posicionar divisor intermediário	43%
10	Fixar Caixa grande	72%
11	Preparar divisor central	21%
12	Preparar Caixa pequena	79%
13	Preparar Caixa grande	72%
15	Verificar divisor central	47%
16	Soldar peças	51%
19	Fixar rodízio	43%
20	Fixar pé	70%

Nº da operação	Descrição da operação	Percentual de produtos que requerem a operação
21	Fixar buchas	21%
22	Fixar difusor	43%
23	Posicionar Lâmpada	49%
24	Limpar	36%
25	Fixar evaporador aletado	49%
26	Fixar placa evaporadora	60%
27	Posicionar tubo	36%
29	Fixar trilho	21%
30	Posicionar Prateleiras 1	64%
31	Posicionar Prateleiras 2	55%
34	Fixar controle eletrônico	34%
36	Fixar cordão de alimentação	70%
38	Preparar kits 1	64%
39	Preparar Cabeceiras	94%
40	Preparar Chapa pequena	47%
42	Preparar Painel pequeno	47%
45	Fixar perfil	15%
46	Fixar interface	6%
47	Fixar aparador	9%
48	Fixar Capa 2	36%
49	Fixar puxador	36%
52	Preparar porta interna	4%
53	Fixar porta Freezer	72%
54	Posicionar Emblema	70%
55	Fixar console	77%
56	Aplicar acabamento 1	74%
57	Fixar prateleiras 1	21%
60	Fixar ventilador	43%

Nº da operação	Descrição da operação	Percentual de produtos que requerem a operação
61	Preparar kits 2	28%
62	Testar vazamento 1	51%
68	Fixar Capa 1	43%
73	Posicionar Prateleiras 3	36%
74	Aplicar acabamento 2	70%
75	Fixar Prateleiras 2	28%
76	Fixar prateleiras 3	43%
77	Fixar recipiente compressor	45%
78	Preparar kits 3	79%
79	Colocar duto	26%

Tabela 13: Lista das outras operações.

A partir disso, para cada item classificado como “Operações Comuns” ou “Outras Operações” foram levantados os tempos de produção para cada refrigerador e *freezer*.

Os tempos das operações foram coletados dos dados atuais da empresa, que por sua vez foram definidos através do método de tempos pré-determinados MTM (*Methods Time Measurement* – Medição de Tempo de Método). Assim como os demais sistemas de tempos pré-determinados, o MTM é utilizado para descrever sequências operacionais e atribuir tempos pré-determinados às mesmas.

Embora todo o método MTM seja baseado em alguns movimentos básicos do corpo, existem diversos módulos de aplicação, que se referem a diferentes princípios de condensação de dados. No caso deste estudo, o módulo utilizado foi o MTM-UAS (*Universelles Analysiersystem* – Sistema de Análise Universal), que descreve macro-movimentos.

O módulo MTM-UAS foi desenvolvido para a aplicação na produção seriada e considera um operador com nível de método¹² mediano, o que significa que o tempo pré-determinado é referente a uma pessoa com habilidade mediana (não é um iniciante, nem um operador

¹² Nível de método é a qualidade com que executada uma tarefa, diretamente relacionada com a habilidade de quem a executa, e vinculado ao grau de organização do sistema de trabalho (Associação MTM do Brasil, 2008)

extremamente treinado na operação) trabalhando num ambiente de trabalho organizado (peças em locais determinados), mas não estritamente enrijecido.

Os tempos coletados para as 80 operações e os 47 produtos que fazem parte desse estudo de caso são mostrados na Tabela 14 e na Tabela 15.

Operação	Produtos (Refrigeradores e Freezers)																						
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1	78	57	45	41	54	21	41	45	57	78	57	57	45	45	21	21	78	78	57	45	15	57	21
2	83	67	115	105	84	44	68	115	54	83	67	54	115	105	44	87	83	83	51	105	162	67	40
3	79	47	120	110	110	35	67	120	31	73	51	31	110	110	35	35	73	73	53	110	35	47	35
4	149	113	115	105	28	12	62	115	90	158	113	90	117	109	12	22	137	158	51	109	71	113	9
5	68	54				37	34		52	68	54	52			37	37	68	68	54		34	54	
6	72	49	124	114	97			124	42	66	49	42	124	114			66	66	55	114	31	49	
7	65	57							48	65	57	48					65	65	48		36	57	47
8	34	31							31	34	31	31					31	34	31			31	
9	62	39							52	62	39	52					62	62			24	39	
10	128	117				18	117		102	128	117	102			18	52	128	128	61		73	117	18
11	59									59							59	59					
12	63	119	98	272	63			98	119	63	119	119	98	272			63	63	204	272	58	119	
13	68	71				87	65		165	51	71	165			90	87	51	51	63		158	71	87
14	306	244	502	424	492	224	246	502	244	305	244	244	508	428	246	215	306	307	307	424	307	245	215
15	44	33							33	44	33	33					44	44	31		31	33	
16		28	40	40	28			40	25		28	25	41	40					40	40		28	
17	40	31	41	41	28	21	23	41	31	45	31	31	39	41	23	21	40	45	41	41	29	31	21
18	36	23	42	42	29	22	25	42	23	36	23	23	42	42	22	22	36	36	42	42	22	23	22
19	39	26					17		26	39	26	26					39	39				26	
20	27	60			56	25	48		60	43	60	60			25	25	27	43			14	60	25
21	41									18							18	18					
22	74	29							46	74	29	46					74	74			29	29	
23	36				27	30			36						48	30	36	36			34		30
24	43	20							25	43	20	25					43	43				20	

Operação	Produtos (Refrigeradores e Freezers)																						
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
25	93	107					41			93	107						93	93			32	107	26
26			92	123	58	31	69	126	19			19	93	128	31	42			123	123			31
27	42				30		49			45						26	42	45					
28	36	79	41	41	23	23	38	41	76	36	79	76	33	41	23	23	36	36	41	41	33	79	23
29	39									27							15	27					
30	35		34	37	26		18	32		35			34	36			26	35	37	36			
31			47	41	26	31		45					36	48	30	30			45	45	14		30
32	47	27	84	84	28	25	23	84	27	43	27	27	74	84	12	25	43	43	84	84	25	27	29
33	66	66	73	63	58	70	54	73	66	70	72	66	74	74	70	70	66	70	74	74	59	66	70
34	79	24							28	89	24						79	89				24	
35	45	46	85	72	82	73	46	85	46	45	46	46	90	85	73	73	45	45	85	85	55	46	73
36		29	44	44	24	31		44	24		29		45	44	31	31			44	44	31	35	31
37	29	26	42	30	54	29	48	42	26	29	26	28	46	44	29	40	29	29	42	44	29	26	29
38	83		38	38				36		79			32	39		53	79	79	38	38	25		
39	104	66	27	27	26	16		27	66	104	66	61	24	27	17	26	67	104	13	27	34	66	15
40	93	24							24	52	24	30					52	52	45		31	24	
41	50	21	56	62	62	63	53	56	21	50	21	27	58	59	63	63	50	50	28	59	32	21	63
42	40	24							24	40	24	24					40	40	40		25	31	
43	43	28	82	76	60	62	43	82	28	43	28	28	80	79	62	62	43	43	42	79	37	32	62
44	364	243	367	367	334	244	251	367	244	369	243	244	368	368	244	244	367	364	244	368	343	243	244
45										40								40					
46										45													
47							21											45					

Operação	Produtos (Refrigeradores e Freezers)																						
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
48	40	59							28	59	59						26	40				59	
49		67	40	67			33		67		67			67						67		67	
50	44	35	41	32	25	26	25	41	32	44	35	32	40	41	26	26	41	44	41	41	57	35	26
51	45	31	45	45	22	28	28	45	31	45	31	31	46	45	28	28	43	45	45	45	30	31	28
52																							
53	31	27	40	40				40	31	31	27	31	30	40			29	31	40	40	33	27	
54	43	34			28	23	40		34	42	34	34			29	23	31	25			35	34	23
55	41	105	165	165			165	165	120	41	105	90	167	165	137		51	40	165	165		105	
56	35	29				27	39		28	40	29	28			31	27	35	35	18		27	29	27
57	43									38							32	43					
58	187	148	128	156	163	126	143	128	148	187	148	148	128	128	126	126	187	187	128	128	132	148	126
59	68	53	45	38	52	29	52	45	53	68	53	53	45	45	29	50	68	68	45	45	31	53	29
60	63	26					32			63	26						63	63			107	26	
61	81						18			81							124	81					
62	58					27	18			53					27	28	50	58			30		27
63	117	67	45	45	59	45	52	45	67	117	67	67	45	45	45	45	117	117	45	45	45	67	40
64	39	33	45	33	41	27	27	45	33	39	33	33	45	45	27	27	39	39	45	45	27	33	27
65	39	68	90	79	47	49	72	90	68	39	68	68	90	90	49	46	39	39	90	90	49	68	49
66	39	28	44	44	26	27	27	44	29	39	31	28	44	44	27	27	39	39	44	44	29	28	27
67	42	31	29	29	26	28	24	29	33	42	31	31	29	29	28	28	42	42	29	29	31	31	28
68	59	54							42	59	54						59	59			25	54	
69	43	23	45	45	22	30	51	45	23	43	23	23	45	45	30	30	43	43	45	45	30	23	30
70	41	24	45	45	44	25	24	45	23	41	21	23	45	45	25	37	41	41	45	45	25	24	25

Operação	Produtos (Refrigeradores e <i>Freezers</i>)																						
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
71	32	31	46	46	25	26	26	46	31	32	31	31	46	46	26	25	32	32	46	46	25	31	25
72	75	51	82	75	47	29	51	82	46	91	51	50	88	86	48	29	55	59	86	86	29	51	19
73	69	54							54	12	54	26					48	69					54
74	42	30	41	37	27			41	30	42	30		38	39			42	42	23	39	20	30	
75	32						20			23							23	32					
76	46	39					25		39	6	39	38					6	46					39
77	22	33							27	22	33						22	22			29	33	
78	40	38	40	39	29		7	37	38	40	38		39	39		28	40	40	39	39		38	
79			42	30				42					35	42						42			
80	53	57	75	75	54	49	54	75	57	53	60	57	75	75	50	49	53	53	75	75	49	57	49

Tabela 14: Tempos originais das operações de montagem para os produtos de A a W.

Operação	Produtos (Refrigeradores e Freezers)																							
	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU
1	78	45	21	21	41	57	57	15	78	15	57	45	45	45	38	41	41	78	78	54	21	78	54	78
2	83	105	44	44	68	51	54	162	83	162	67	88	115	115	68	105	105	83	83	89	40	83	89	83
3	78	110	35	35	67	53	31	35	73	35	51	91	120	120	67	110	110	79	73	30	35	73	30	73
4	126	109	12	10	62	51	90	71	137	71	113	88	115	117	59	105	105	149	158	29	9	158	29	158
5	68		37	37	34	54	52	34	68	34	54				34			68	68			68		68
6	66	114			55	55	42	31	66	31	49	95	124	124	55	114	114	66	66			66		66
7	84		47			48	48	36	65	36	57							65	65		47	65		65
8	34					34	31	31	34	31	31							34	34			34		34
9	62						52	24	62	24	39							62	62			62		62
10	128		18	18	117	61	102	73	128	73	117				120			128	128	57	18	128	57	128
11	77								59									59	59			59		59
12	63	272			95	204	119	58	63	58	119	522	98	98	83	272	272	63	63			63		63
13	51		87	87	65	63	165	158	51	158	71				132			51	51	74	87	51	74	51
14	305	428	246	224	251	307	244	225	305	225	245	307	502	508	246	428	424	305	305	215	217	307	215	305
15	44					31	33	31	44	31	33							44	44			44		44
16		40				41	25					28	39	40	41		39	39			33			33
17	40	41	21	21	23	39	31	29	45	29	31	42	41	39	23	41	42	40	40	24	21	40	24	40
18	36	42	22	22	25	42	23	22	36	22	23	41	42	42	25	43	41	36	36	29	22	36	29	36
19	39				17		26		39		26					17		39	39			39		39
20	27		25	25	48		60	14	43	14	60				48			27	27	37	25	27	56	27
21	41								18									41	42			41		18
22	74						46	29	74	29	29							74	76			74		74
23	36		48	30				34	36	34								36	36	27	30	36	27	36
24	43						25		43		20							43	43			43		43

Operação	Produtos (Refrigeradores e Freezers)																							
	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU
25	93		26		41			32	93	32	107				74			93	93		26	93		93
26		128	31	31		93	19					41	126	93		85	122			69	31		69	
27	45				49				45						25			45	45	29		45	29	45
28	36	41	23	23	38	33	76	33	36	33	79	38	41	33	49	40	38	36	36	20	23	36	20	36
29	39								27									39	27			39		39
30	35	36			24	37			35			35	32	34	24	42	35	35	29	27		35	27	35
31		43	30	30		36		14		14			49	36		30	41			31	30		31	
32	47	84	12	25	30	74	27	29	43	29	27	35	84	74	27	167	35	47	43	32	25	47	32	47
33	66	74	70	70	54	74	72	59	70	59	72	69	73	74	46	60	61	66	46	61	70	66	61	83
34	79						28		89		24							79	95			79		79
35	45	85	73	73	46	90	46	55	45	55	46	73	85	90	46	72	73	45	45	82	73	45	82	45
36		44	31	31		45	24	31		31	29	40	44	45		30	40			24	31		24	
37	29	44	29	29	48	46	32	29	29	29	26	44	44	46	48	30	30	29	29	53	29	29	53	29
38	83	36				38		25	79	25		31	39	32		32	31	83	79	59		83	59	53
39	104	27	17	15		10	66	34	97	34	66	27	27	24		28	27	104	104	28	15	104	28	104
40	93					45	24	31	52	31	24							52	93			52		93
41	50	59	63	63	45	21	21	32	50	32	21	59	56	58	45	62	62	50	50	61	63	50	61	50
42	40					40	24	25	40	25	31							40	40			47		40
43	43	79	62	62	43	40	28	37	43	37	32	76	82	80	41	76	76	43	43	58	62	50	65	43
44	364	368	244	244	339	244	244	244	369	244	243	244	367	368	339	368	367	364	369	244	244	364	244	369
45	40																	40	40			40		40
46																						45		45
47																			45				21	

Operação	Produtos (Refrigeradores e Freezers)																							
	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU
48	59						28		40		59				26			40	59			59		59
49		67			27		67				67	67			24	67	67							
50	44	41	26	26	25	40	32	57	38	57	35	10	41	40	25	30	32	44	44	32	26	44	32	44
51	45	45	28	28	28	46	31	30	43	30	31	46	45	46	28	41	41	45	45	32	28	45	32	45
52					97										95									
53	31	40				30	31	33	31	33	27	34	40	30		37	34	31	31			31		31
54	42		23	23	30		34	35	24	35	34				47			25	42	28	23	49	28	42
55	41	165	132		71	167	120		38		105	131	165	167	132	132	131	37	41			41		41
56	40		28	27	45	16	28	27	35	27	29	37			65			35	40	19	27	40	19	40
57	38								38									43	38			43		38
58	187	128	126	126	143	128	148	132	187	132	148	154	128	128	143	154	154	187	187	148	126	187	148	187
59	68	45	29	29	52	45	53	31	68	31	53	36	45	45	52	30	36	68	68	54	29	68	54	68
60	63				32			107	63	107	26				46			63	63			63		63
61	81				24				70						24			81	81			79		81
62	50		27	27	18			30	58	30					18			58	50	28	27	58		58
63	117	45	45	45	52	45	67	45	117	45	67	39	45	45	52	40	39	117	117	55	55	117	55	117
64	39	45	27	27	33	45	33	27	39	27	33	33	45	45	33	33	33	39	39	30	27	39	41	39
65	39	90	49	49	72	90	68	49	39	49	68	79	90	90	72	87	84	39	39	47	49	39	47	39
66	39	44	27	27	27	44	31	29	39	29	31	44	44	44	27	44	44	39	39	26	27	39	26	39
67	42	29	28	28	24	29	33	31	42	31	31	29	29	29	24	29	29	42	42	21	28	42	21	42
68	59						42	25	59	25	54				32			59	59			59		59
69	43	45	30	30	51	45	23	30	43	30	23	45	45	45	51	45	45	43	43	22	30	43	22	43
70	41	45	25	25	24	45	26	25	41	25	27	45	45	45	24	45	45	41	41	38	25	41	43	41

Operação	Produtos (Refrigeradores e Freezers)																							
	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU
71	32	46	26	26	26	46	31	25	32	25	31	46	46	46	26	46	46	32	32	22	25	32	22	32
72	59	86	48	29	51	88	46	19	59	19	51	78	86	88	51	75	75	59	61	31	29	59	59	77
73	69						54		69		54							69	12			69		66
74	42	39				21	30	20	42	20	30		41	38		30	37	42	42			42		42
75	32				20				32						24			32	23			32		35
76	46				25		39		46		39				25			46	6			46		46
77	22				29			29	22	29	33	37			25			22	38			22		22
78	40	39			7	39	38		40		38	39	39	39	15	39	39	40	40	30		40	30	40
79		42										30	42	35		33	30							
80	53	75	49	49	55	75	57	49	53	49	60	75	75	75	54	75	75	53	60	51	49	53	54	53

Tabela 15: Tempos originais das operações de montagem para os produtos de X a AU.

A seguir será apresentada a detecção univariada, através do método Box-plot, conforme detalhado no item 3.2.4. A partir deste ponto, toda vez que houver a citação “intervalo especificado” refere-se à forma de cálculo apresentada anteriormente. Todos os dados que ficaram fora dos intervalos especificados serão detalhados e comentados.

Para os dados que ficaram fora dos intervalos especificados, foi feita a verificação das análises MTM e a checagem dos tempos através de cronometragem. Para cada operação, foram registrados 10 ciclos de trabalho (10 amostras de tempo cronometrado). Então, calculou-se a média aritmética dos 10 tempos, conhecida como “Tempo Observado” (TO). A partir do TO, calculou-se o “Tempo Normal” (TN), que é a multiplicação do TO pelo “Fator de Ritmo” (FR) do operador em questão (deve-se observar o ritmo de trabalho do operador que está realizando a operação no momento da cronometragem). Finalmente, o “Tempo Padrão” (TP) foi calculado multiplicando-se o TN pela “Tolerância”, que é o percentual de tempo improdutivo aceitável devido a perdas inerentes ao processo (problemas de encaixe de peças, falhas nos equipamentos, fadiga, etc). Neste estudo, a tolerância foi considerada de 92%, ou seja, 8% de perda aceitável. De acordo com (BAINES, 1995), o tempo padrão representa o tempo que um operador qualificado, trabalhando em um ritmo normal e usando ferramentas e procedimentos apropriados, necessita para completar uma operação.

Como os dados iniciais foram levantados através de análise MTM e a checagem dos dados foi feita através de cronometragem (métodos diferentes), somente se modificou os tempos para os casos onde o tempo original diferiu em mais de 5% do tempo padrão (calculado através da cronometragem). Para os casos em que a diferença entre o tempo da análise MTM e o tempo padrão calculado através de cronometragem foi igual ou abaixo de 5%, optou-se por manter os tempos originais das análises MTM.

4.2.1 Operação 1

Para esta operação, os produtos U, AE e AG tiveram o tempo da atividade apontado em 15 segundos abaixo do especificado (17 s) sendo portanto observações a serem analisadas. Observou-se que houve erro no registro do dado, pois o tempo da operação na prática era maior do que o tempo registrado. Através de cronometragem, checkou-se o tempo padrão de 23 segundos e os dados foram corrigidos.

4.2.2 Operação 11

Na operação 11, o modelo X tem o tempo de 77 segundos, acima do limite superior de tempo para esta operação (59 segundos). Este caso ocorreu porque todos os outros produtos que passam por esta operação tem tempo de 59 segundos e somente o produto X tem um tempo adicional. Na prática, de fato o produto X demanda mais tempo nesta atividade que os demais produtos pois se trata de um produto mais complexo. Por este motivo, este dado não foi alterado.

4.2.3 Operação 12

Nesta operação, 9 produtos tiveram o tempo da atividade maior que o tempo máximo. Os produtos S e AC com 204 segundos, os produtos D, N, T, Y, AM e AN com 272 segundos e o produto AI com 522 segundos, sendo o tempo máximo determinado através do método Box-Plot de 203,7 segundos. A operação 12 refere-se à atividade de “Preparar caixa pequena”. Em geral, são modelos de *freezer* vertical que necessitam de várias atividades na caixa do compartimento do *freezer* (aqui referenciada como caixa pequena) anteriormente a colocação desta dentro do gabinete. Os tempos foram checados na prática e o cálculo do tempo padrão para todos esses casos conferem com o tempo real demandado para fazer as atividades necessárias.

4.2.4 Operação 13

Para a operação 13, “Preparar caixa grande” também houve alguns produtos com tempo acima do tempo máximo especificado. Os tempos foram checados, e assim como no caso da Operação 12 tratam-se de atividades necessárias para produtos que possuem algumas características diferentes no sistema de refrigerador, demandando atividades mais complexas na preparação da caixa antes que esta seja inserida no gabinete.

4.2.5 Operação 23

Na operação 23, os produtos O e Z, tiveram o tempo da operação registrado em 48 segundos, acima do tempo máximo (45,6 segundos). Na prática, notou-se que estes produtos demandam mais tempo que o restante que necessitam desta atividade, porém o tempo registrado realmente estava acima do tempo real. Por este motivo, foi realizada

uma nova cronometragem e o tempo padrão dos produtos O e Z para a operação 23 “Posicionar lâmpada” foi corrigido para 42 segundos.

4.2.6 Operação 28

Nesta operação de “Soldar evaporador”, os produtos AQ e AT tiveram o tempo para finalizar a operação de 20 segundos (abaixo do mínimo de 21 segundos) e 6 produtos – B, I, K, L, V, AD e AH – tiveram o tempo entre 76 e 79 segundos, acima do tempo máximo (53 segundos) segundo o método Box-plot. Esta operação apresenta grande variação devido ao tipo de sistema de refrigeração dos produtos. Em geral, para os produtos que tem descongelamento manual, a operação de Soldar evaporador é uma operação mais simples e, para os produtos que tem descongelamento automático, existem mais atividades para finalizar a operação. Os tempos da operação para todos os produtos que ficaram fora do tempo especificado estavam corretos e foram mantidos sem alterações.

4.2.7 Operação 30

Para a operação 30, o produto G apresentou tempo de 18 segundos, abaixo do tempo mínimo de 21,9 segundos. Neste caso, certamente houve um erro na análise de tempos pré-determinados, pois o tempo padrão verificado foi de 25 segundos. Desta forma, a alteração foi feita nos dados iniciais.

4.2.8 Operação 32

Na operação “Fixar gaveta”, o produto AM apresentou tempo de 167 segundos, bem acima do tempo máximo de 110,8 segundos. Provavelmente trata-se de um erro de registro, pois o tempo padrão da operação foi de 84 segundos, sendo portanto feita a correção nos dados iniciais.

4.2.9 Operação 33

Neste caso os produtos AL e AP tiveram o tempo da operação “Fixar condensador” registrado em 46 segundos, abaixo do tempo mínimo determinado através do método Box-plot, de 47 segundos. A conferência foi feita através de cronometragem e o tempo padrão encontrado para o produto AL foi de 54 segundos e para o modelo AP

foi de 66 segundos, com isso todos os tempos para a operação 33 ficaram dentro dos limites determinados.

4.2.10 Operação 40

Na operação “Preparar chapa pequena”, os produtos A, X, AP e AU tiveram o tempo de operação de 93 segundos, sendo o tempo máximo para serem considerados observações típicas de 90,4 segundos. Neste caso, os produtos que tiveram tempo acima são mais complexos, pois possuem *features* diferenciados na porta e portanto, requerem maior tempo de montagem desta. Por conta disso, estes tempos permaneceram iguais aos dados iniciais sem serem alterados.

4.2.11 Operação 49

Para a operação 49, “Fixar puxador” os produtos C (40 segundos), G (33 segundos), AB (27 segundos) e AL (24 segundos) tiveram o tempo da operação abaixo do tempo mínimo e os produtos D, N, T e Y tiveram o tempo 67 segundos, maior que o tempo máximo da operação. Neste caso, aconteceu o fenômeno de o tempo mínimo especificado pelo método Box-plot ter o mesmo valor que o tempo máximo, ambos 66,8 segundos. Este fenômeno aconteceu porque este tempo é o mais freqüente para esta atividade e tem freqüência relativa muito alta.

Os produtos que tiveram o tempo abaixo do mínimo possuem conceito de puxador diferente da maioria dos puxadores e que são mais simples de se montar. Uma vez que os tempos registrados conferiam com o tempo padrão calculado, estes dados também não foram alterados.

4.2.12 Operação 46

Para esta operação, apenas o produto AL (65 segundos) teve o tempo maior que o tempo máximo determinado pelo método Box-plot (49,2 segundos). Possivelmente este seja um caso de erro no registro do dado, pois o tempo padrão calculado foi de 45 segundos, sendo feita portanto a alteração do dado original.

4.2.13 Operação 61

A operação 61 trata-se de “Preparar Kits 2” onde os produtos G (18 segundos), AB (24 segundos) e AL (24 segundos) tiveram o tempo

bem abaixo do tempo mínimo determinado (53,6 segundos). No outro extremo, o produto Q (124 segundos) apresentou tempo acima do máximo (97,1 segundos).

Para o caso dos produtos G, AB e AL a verificação foi feita através de cronometragem e houve a confirmação da veracidade dos dados. Já para o produto Q, o tempo padrão conferido foi de 14 segundos, portanto o tempo registrado inicialmente em 124 segundos provavelmente trata-se de erro de digitação. Com a correção do valor para o tempo deste produto, os valores de máximo e mínimo também se alteram, fazendo com que todos os produtos, inclusive estes citados anteriormente ficassem dentro dos limites estabelecidos.

4.2.14 Operação 63

Na operação “Testar vazamento de gás volátil”, 10 produtos – A, J, Q, R, X, AF, AO, AP, AS e AU – tiveram tempo de 117 segundos, acima do tempo máximo de 99,6 segundos. Na prática, o tempo para executar esta operação para os produtos citados conferiram com o tempo registrado de 117 segundos, portanto não houve alteração nos dados originais. A explicação é que estes produtos têm maior número de pontos de solda que a maioria dos produtos e, como o tempo de vazamento é feito em cada ponto de solda, para estes modelos o teste demanda maior tempo.

4.2.15 Operação 67

Pelo mesmo motivo acima explicado, os produtos A, J, Q, R, X, AF, AO, AP, AS e AU ficaram com tempo para a operação “Testar vazamento 3” acima do tempo máximo especificado. Para esta operação no entanto, 2 produtos tiveram tempo de 21 segundos, abaixo do tempo mínimo determinado pelo método Box-plot (22,4 segundos). A cronometragem foi feita novamente e verificou-se a confiabilidade dos dados iniciais, portanto não foram feitas alterações para estes casos.

4.2.16 Operação 73

Para a operação de “Posicionar prateleiras 3”, os produtos J e AP tiveram tempo registrado de 12 segundos e o produto L teve tempo de 26 segundos, estando estes 3 produtos abaixo do tempo mínimo especificado (32,1 segundos). A verificação dos tempos foi realizada e o tempo padrão encontrado para os produtos J e AP foi de 65 segundos, havendo portanto a necessidade de correção dos dados originais. Já para

o produto L, o tempo de 26 segundos se confirmou, não havendo necessidade de alteração nesse caso.

4.2.17 Operação 78

Na operação “Preparar kits 3”, os produtos G e AB tiveram tempo registrado de 7 segundos; o produto AL teve tempo de 15 segundos e os produtos P, E, AQ e AT tiveram tempo de 28, 29, 30 e 30 segundos, respectivamente, ficando todos eles abaixo do tempo mínimo especificado através do método Box-plot (34,8 segundos). Para o modelo G, o tempo padrão verificado através de cronometragem foi de 27 segundos e feita a correção, porém ainda assim este modelo ficou abaixo do tempo mínimo. Para o modelo G, o tempo padrão foi de 18 segundos, sendo também efetuada a alteração nos dados iniciais, mas também permanecendo fora do intervalo determinado. Para os demais produtos, o tempo padrão checado conferiu com o tempo registrado, não havendo alterações dos dados iniciais.

Com isso, as alterações acima descritas foram efetuadas nos dados originais, gerando a Tabela 16, que foi utilizada para dar continuidade a esta pesquisa. Na tabela, estão destacados os tempos que foram alterados.

Operação	Produtos (Refrigeradores e Freezers)																						
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1	78	57	45	41	54	21	41	45	57	78	57	57	45	45	21	21	78	78	57	45	23	57	21
2	83	67	115	105	84	44	68	115	54	83	67	54	115	105	44	87	83	83	51	105	162	67	40
3	79	47	120	110	110	35	67	120	31	73	51	31	110	110	35	35	73	73	53	110	35	47	35
4	149	113	115	105	28	12	62	115	90	158	113	90	117	109	12	22	137	158	51	109	71	113	9
5	68	54				37	34		52	68	54	52			37	37	68	68	54		34	54	
6	72	49	124	114	97			124	42	66	49	42	124	114			66	66	55	114	31	49	
7	65	57							48	65	57	48					65	65	48		36	57	47
8	34	31							31	34	31	31					31	34	31			31	
9	62	39							52	62	39	52					62	62			24	39	
10	128	117				18	117		102	128	117	102			18	52	128	128	61		73	117	18
11	59								59								59	59					
12	63	119	98	272	63			98	119	63	119	119	98	272			63	63	204	272	58	119	
13	68	71				87	65		165	51	71	165			90	87	51	51	63		158	71	87
14	306	244	502	424	492	224	246	502	244	305	244	244	508	428	246	215	306	307	307	424	307	245	215
15	44	33							33	44	33	33					44	44	31		31	33	
16		28	40	40	28			40	25		28	25	41	40					40	40		28	
17	40	31	41	41	28	21	23	41	31	45	31	31	39	41	23	21	40	45	41	41	29	31	21
18	36	23	42	42	29	22	25	42	23	36	23	23	42	42	22	22	36	36	42	42	22	23	22
19	39	26					17		26	39	26	26					39	39				26	
20	27	60			56	25	48		60	43	60	60			25	25	27	43			14	60	25
21	41									18							18	18					
22	74	29							46	74	29	46					74	74			29	29	
23	36				27	30				36					42	30	36	36			34		30

Operação	Produtos (Refrigeradores e Freezers)																						
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
47							21											45					
48	40	59							28	59	59						26	40				59	
49		67	40	67			33		67		67			67						67		67	
50	44	35	41	32	25	26	25	41	32	44	35	32	40	41	26	26	41	44	41	41	57	35	26
51	45	31	45	45	22	28	28	45	31	45	31	31	46	45	28	28	43	45	45	45	30	31	28
52																							
53	31	27	40	40				40	31	31	27	31	30	40			29	31	40	40	33	27	
54	43	34			28	23	40		34	42	34	34			29	23	31	25			35	34	23
55	41	105	165	165			165	165	120	41	105	90	167	165	137		51	40	165	165		105	
56	35	29				27	39		28	40	29	28			31	27	35	35	18		27	29	27
57	43									38							32	43					
58	187	148	128	156	163	126	143	128	148	187	148	148	128	128	126	126	187	187	128	128	132	148	126
59	68	53	45	38	52	29	52	45	53	68	53	53	45	45	29	50	68	68	45	45	31	53	29
60	63	26					32			63	26						63	63			107	26	
61	81						18			81								14	81				
62	58					27	18			53					27	28	50	58			30		27
63	117	67	45	45	59	45	52	45	67	117	67	67	45	45	45	45	117	117	45	45	45	67	40
64	39	33	45	33	41	27	27	45	33	39	33	33	45	45	27	27	39	39	45	45	27	33	27
65	39	68	90	79	47	49	72	90	68	39	68	68	90	90	49	46	39	39	90	90	49	68	49
66	39	28	44	44	26	27	27	44	29	39	31	28	44	44	27	27	39	39	44	44	29	28	27
67	42	31	29	29	26	28	24	29	33	42	31	31	29	29	28	28	42	42	29	29	31	31	28
68	59	54							42	59	54						59	59			25	54	

Operação	Produtos (Refrigeradores e Freezers)																									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W			
69	43	23	45	45	22	30	51	45	23	43	23	23	45	45	30	30	43	43	45	45	30	23	30			
70	41	24	45	45	44	25	24	45	23	41	21	23	45	45	25	37	41	41	45	45	25	24	25			
71	32	31	46	46	25	26	26	46	31	32	31	31	46	46	26	25	32	32	46	46	25	31	25			
72	75	51	82	75	47	29	51	82	46	91	51	50	88	86	48	29	55	59	86	86	29	51	19			
73	69	54							54	65	54	26					48	69				54				
74	42	30	41	37	27			41	30	42	30		38	39				42	42	23	39	20	30			
75	32						20			23								23	32							
76	46	39					25		39	6	39	38						6	46				39			
77	22	33							27	22	33							22	22			29	33			
78	40	38	40	39	29		27	37	38	40	38		39	39		28	40	40	39	39		38				
79			42	30				42					35	42						42						
80	53	57	75	75	54	49	54	75	57	53	60	57	75	75	50	49	53	53	75	75	49	57	49			

Tabela 16: Tempos corrigidos para as operações de montagem para os produtos de A a W.

Operação	Produtos (Refrigeradores e Freezers)																							
	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU
1	78	45	21	21	41	57	57	23	78	23	57	45	45	45	38	41	41	78	78	54	21	78	54	78
2	83	105	44	44	68	51	54	162	83	162	67	88	115	115	68	105	105	83	83	89	40	83	89	83
3	78	110	35	35	67	53	31	35	73	35	51	91	120	120	67	110	110	79	73	30	35	73	30	73
4	126	109	12	10	62	51	90	71	137	71	113	88	115	117	59	105	105	149	158	29	9	158	29	158
5	68		37	37	34	54	52	34	68	34	54				34			68	68			68		68
6	66	114			55	55	42	31	66	31	49	95	124	124	55	114	114	66	66			66		66
7	84		47			48	48	36	65	36	57							65	65		47	65		65
8	34					34	31	31	34	31	31							34	34			34		34
9	62						52	24	62	24	39							62	62			62		62
10	128		18	18	117	61	102	73	128	73	117				120			128	128	57	18	128	57	128
11	77							59										59	59			59		59
12	63	272			95	204	119	58	63	58	119	522	98	98	83	272	272	63	63			63		63
13	51		87	87	65	63	165	158	51	158	71				132			51	51	74	87	51	74	51
14	305	428	246	224	251	307	244	225	305	225	245	307	502	508	246	428	424	305	305	215	217	307	215	305
15	44					31	33	31	44	31	33							44	44			44		44
16		40				41	25				28	39	40	41		39	39			33			33	
17	40	41	21	21	23	39	31	29	45	29	31	42	41	39	23	41	42	40	40	24	21	40	24	40
18	36	42	22	22	25	42	23	22	36	22	23	41	42	42	25	43	41	36	36	29	22	36	29	36
19	39				17		26		39		26				17			39	39			39		39
20	27		25	25	48		60	14	43	14	60				48			27	27	37	25	27	56	27
21	41								18									41	42			41		18
22	74						46	29	74	29	29							74	76			74		74
23	36		42	30				34	36	34								36	36	27	30	36	27	36

Operação	Produtos (Refrigeradores e Freezers)																								
	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	
24	43						25		43		20							43	43			43		43	
25	93		26		41			32	93	32	107				74			93	93		26	93		93	
26		128	31	31		93	19					41	126	93		85	122			69	31		69		
27	45				49					45					25			45	45	29		45	29	45	
28	36	41	23	23	38	33	76	33	36	33	79	38	41	33	49	40	38	36	36	20	23	36	20	36	
29	39								27									39	27			39		39	
30	35	36			24	37			35			35	32	34	24	42	35	35	29	27		35	27	35	
31		43	30	30		36		14		14			49	36		30	41			31	30		31		
32	47	84	12	25	30	74	27	29	43	29	27	35	84	74	27	84	35	47	43	32	25	47	32	47	
33	66	74	70	70	54	74	72	59	70	59	72	69	73	74	54	60	61	66	66	61	70	66	61	83	
34	79						28		89		24							79	95			79		79	
35	45	85	73	73	46	90	46	55	45	55	46	73	85	90	46	72	73	45	45	82	73	45	82	45	
36		44	31	31		45	24	31		31	29	40	44	45		30	40			24	31		24		
37	29	44	29	29	48	46	32	29	29	29	26	44	44	46	48	30	30	29	29	53	29	29	53	29	
38	83	36				38		25	79	25		31	39	32		32	31	83	79	59		83	59	53	
39	104	27	17	15		10	66	34	97	34	66	27	27	24		28	27	104	104	28	15	104	28	104	
40	93					45	24	31	52	31	24							52	93			52		93	
41	50	59	63	63	45	21	21	32	50	32	21	59	56	58	45	62	62	50	50	61	63	50	61	50	
42	40					40	24	25	40	25	31							40	40			47		40	
43	43	79	62	62	43	40	28	37	43	37	32	76	82	80	41	76	76	43	43	58	62	50	65	43	
44	364	368	244	244	339	244	244	244	369	244	243	244	367	368	339	368	367	364	369	244	244	364	244	369	
45	40																	40	40			40		40	
46																							45		45

Operaça ^o	Produtos (Refrigeradores e Freezers)																							
	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU
47																			45				21	
48	59						28		40		59				26			40	59			59		59
49		67			27		67				67	67			24	67	67							
50	44	41	26	26	25	40	32	57	38	57	35	10	41	40	25	30	32	44	44	32	26	44	32	44
51	45	45	28	28	28	46	31	30	43	30	31	46	45	46	28	41	41	45	45	32	28	45	32	45
52					97										95									
53	31	40				30	31	33	31	33	27	34	40	30		37	34	31	31			31		31
54	42		23	23	30		34	35	24	35	34				47			25	42	28	23	49	28	42
55	41	165	132		71	167	120		38		105	131	165	167	132	132	131	37	41			41		41
56	40		28	27	45	16	28	27	35	27	29	37			45			35	40	19	27	40	19	40
57	38								38									43	38			43		38
58	187	128	126	126	143	128	148	132	187	132	148	154	128	128	143	154	154	187	187	148	126	187	148	187
59	68	45	29	29	52	45	53	31	68	31	53	36	45	45	52	30	36	68	68	54	29	68	54	68
60	63				32			107	63	107	26				46			63	63			63		63
61	81				24				70						24			81	81			79		81
62	50		27	27	18			30	58	30					18			58	50	28	27	58		58
63	117	45	45	45	52	45	67	45	117	45	67	39	45	45	52	40	39	117	117	55	55	117	55	117
64	39	45	27	27	33	45	33	27	39	27	33	33	45	45	33	33	33	39	39	30	27	39	41	39
65	39	90	49	49	72	90	68	49	39	49	68	79	90	90	72	87	84	39	39	47	49	39	47	39
66	39	44	27	27	27	44	31	29	39	29	31	44	44	44	27	44	44	39	39	26	27	39	26	39
67	42	29	28	28	24	29	33	31	42	31	31	29	29	29	24	29	29	42	42	21	28	42	21	42
68	59						42	25	59	25	54				32			59	59			59		59

Operação	Produtos (Refrigeradores e Freezers)																							
	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU
69	43	45	30	30	51	45	23	30	43	30	23	45	45	45	51	45	45	43	43	22	30	43	22	43
70	41	45	25	25	24	45	26	25	41	25	27	45	45	45	24	45	45	41	41	38	25	41	43	41
71	32	46	26	26	26	46	31	25	32	25	31	46	46	46	26	46	46	32	32	22	25	32	22	32
72	59	86	48	29	51	88	46	19	59	19	51	78	86	88	51	75	75	59	61	31	29	59	59	77
73	69						54		69		54							69	65			69		66
74	42	39				21	30	20	42	20	30		41	38		30	37	42	42			42		42
75	32				20				32						24			32	23			32		35
76	46				25		39		46		39				25			46	6			46		46
77	22				29			29	22	29	33	37			25			22	38			22		22
78	40	39			18	39	38		40		38	39	39	39	15	39	39	40	40	30		40	30	40
79		42										30	42	35		33	30							
80	53	75	49	49	55	75	57	49	53	49	60	75	75	75	54	75	75	53	60	51	49	53	54	53

Tabela 17: Tempos corrigidos para as operações de montagem para os produtos de X a AU.

- e) Tipo de gás refrigerante disponível na linha de montagem diferente do gás refrigerante requerido pelo produto em questão.

Com base nessas restrições processuais, gerou-se um quadro de restrições (Tabela 18), que mostra a quais linhas de montagem determinados produtos não podem ser produzidos.

Produtos restritos a Linha 1	Produtos restritos a Linha 2	Produtos restritos a Linha 3	Produtos restritos a Linha 4
V	Y	Y	V
AI	AA	AB	AI
AO	AB	AJ	AO
AS	AJ	AK	AS
	AK	AM	
	AN	AN	
	AR	AO	
	AT	AT	

Tabela 18: Restrições de Processo.

Nota-se que não aparece nenhum produto restrito às linhas de montagem 5 e 6, o que realmente acontece na prática, uma vez que essas linhas são as mais completas (tem os maiores porta-moldes, que se adaptam a qualquer tamanho de molde e possuem todos os tipos de gases).

Essas restrições são relativas à situação real no momento do levantamento dos dados, mas cabe salientar que a empresa estudada caminha para minimização das restrições, a fim de deixar as linhas de montagem flexíveis à produção da maioria dos produtos existentes.

Então, fez-se o levantamento da capacidade relativa produtiva das linhas de montagem, também levando em consideração a situação atual. Para preservar a confiabilidade dos dados da empresa, os valores de capacidade das linhas foram transformados em percentual, de modo que o somatório da capacidade das 6 linhas de montagem é igual a 100%. A capacidade de cada linha de montagem, em percentual, é apresentada na Tabela 19.

Linha de Montagem	Capacidade
1	16,4%
2	14,1%
3	15,2%
4	16,4%
5	18,1%
6	19,9%

Tabela 19: Capacidade produtiva das linhas de montagem.

Através dos dados apresentados na Tabela 19 e da definição dos produtos-referência, de acordo com a estratégia proposta por cada abordagem que será descrita a seguir, utilizou-se o algoritmo e obtiveram-se os resultados de configurações de mix possíveis.

Para facilitar a comparação entre os resultados, serão utilizados os indicadores apresentados no item 3.4. Especialmente para o indicador Diferença de Tempo entre Produtos, foi criada uma classificação de semelhança entre os produtos, em relação ao indicador. O objetivo dessa classificação é definir níveis de semelhança entre produtos em relação ao valor da Diferença de Tempo entre Produtos, de modo que se possa fazer referência aos pares de produtos em relação a semelhança entre eles (classificação) e não em relação ao indicador numérico DT.

A classificação aqui apresentada é de proposta da autora. Ela propõe 4 níveis de semelhança, igualmente distribuídos entre a amplitude do indicador Diferença de Tempo entre Produtos entre todos os pares de produtos do problema.

Para tanto, primeiramente se calculou a diferença de tempo entre todos os pares de produtos (1.128) e então a variação deste indicador (Maior DT – Menor DT). Após isso, foram criadas 4 níveis de semelhança, igualmente espaçados entre a variação do indicador DT, sendo eles: alta semelhança, semelhança mediana, baixa semelhança e nenhuma semelhança. Os níveis de semelhança são apresentados no Gráfico 4.

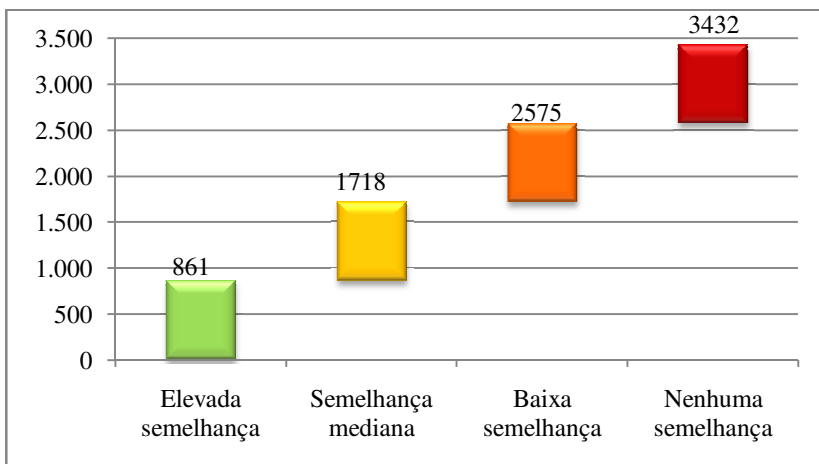


Gráfico 4: Níveis de semelhança entre produtos.

O indicador Diferença de Tempo entre produtos é um indicador de dissimilaridade, ou seja, quanto menor esse indicador, maior é a semelhança entre os produtos. Por isso, os pares de produtos que apresentam diferença de tempo menor ou igual a 861 segundos são considerados com “elevada semelhança”, os pares com diferença de tempo maior que 861 e menor ou igual a 1718 segundos são considerados com “semelhança mediana”, os pares de produtos com DT maior que 1718 e menor ou igual a 2575 segundos são considerados com “baixa semelhança” e aqueles pares de produtos com diferença de tempo maior que 2575 segundos são considerados com “nenhuma semelhança”.

4.3.1 Abordagem 1: Produtos-referência de Maior Demanda

Com base na disponibilidade de 6 linhas de montagem, na primeira abordagem, escolheu-se os 6 modelos mais demandados para serem os “produtos referência”, um para cada linha de montagem, conforme apresentado na Tabela 20.

Produto-referência	Produto	Demanda
1	AL	18,1%
2	S	11,9%
3	Z	11,1%
4	AQ	10,4%
5	B	7,3%
6	A	4,2%

Tabela 20: Os seis produtos-referência selecionados com base na demanda.

Após a definição dos produtos referência, foi feita a pré-alocação destes para as 6 linhas de montagem existentes, sendo um produto referência para cada uma das linhas de montagem. Vale ressaltar que a pré-alocação dos produtos-referência obrigatoriamente deve obedecer as restrições de processo, ou seja, um produto-referência que é restrito a determina linha não pode a ela ser previamente alocado. A Tabela 21 mostra a pré-alocação dos produtos-referência.

Produto-Referência	Linha de Produção Previamente Definida
AQ	1
A	2
B	3
Z	4
S	5
AL	6

Tabela 21: Alocação dos Produtos-referência para Abordagem 1.

As restrições processuais aplicadas à abordagem 1 referem-se às restrições de processo atuais, apresentadas na Tabela 18.

Por fim, os tempos das 80 operações para cada um dos 47 produtos (Tabela 16 e Tabela 17) completam os dados de entrada.

Ao longo da utilização do algoritmo com os dados anteriormente apresentados, os indicadores monitorados são apresentados na Tabela 22.

Número de sementes geradas	7
Número de configurações de mix geradas	440
Número de configurações oriundas de sementes	433
Número médio de configurações por semente	62
Tempo total de funcionamento do algoritmo	08:25:38
Percentual de melhoria no IUT [(melhor IUT / pior IUT) - 1]	55,3%

Tabela 22: Indicadores de utilização do algoritmo para Abordagem 1.

Conforme mostrado na Tabela 22, foram geradas 440 possibilidades de diferentes configurações de mix, oriundas de 7 sementes aleatórias iniciais.

No Gráfico 5 é mostrado o percentual de alocação de cada produto para cada linha de montagem, em relação às 440 configurações de mix geradas.

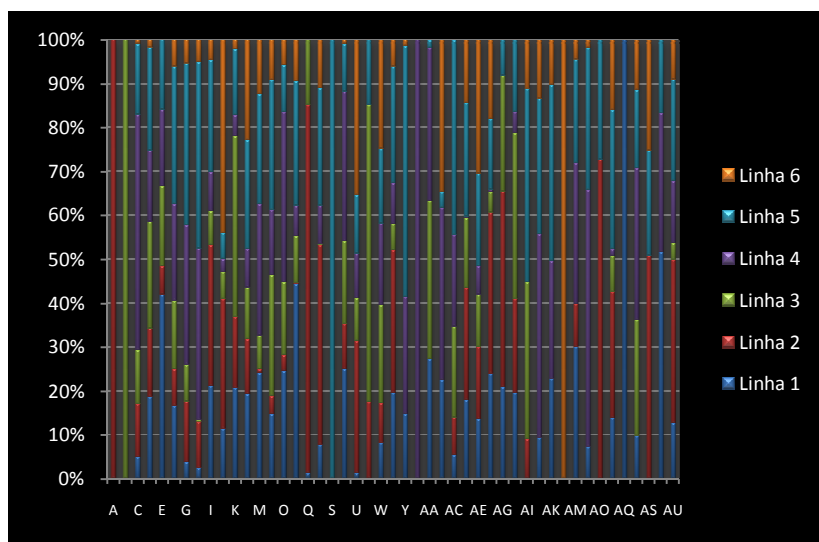


Gráfico 5: Percentual de alocação de cada produto em cada linha de montagem para a Abordagem 1.

Nota-se que os produtos A, B, S, Z, AL e AQ permaneceram 100% das configurações na mesma linha de montagem. Isso ocorreu pois tratam-se de produtos-referência, ou seja, estão previamente alocados.

O produto que apareceu mais de 50% das vezes na Linha 1, em conjunto com o produto-referência AQ, foi AT (repetindo-se nessa linha 51,5% das alocações). São produtos com tempos total de operação próximos, sendo $T_{AQ}= 2.290$ segundos e $T_{AT}= 2.356$ segundos e $DT_{AQ-AT}= 122$ segundos, ou seja, apresentam elevada semelhança entre si.

Os produtos Q, AO e AS tiveram alta frequência de alocação na Linha 2 (83,8%, 72,7% e 50,8% respectivamente) pois são produtos de elevada semelhança com o produto-referência A ($DT_{A-Q}= 408$ segundos, $DT_{A-AO}= 146$ segundos e $DT_{A-AS}= 230$ segundos).

Na Linha 3, num elevado percentual das configurações (67,7%), o produto V estava presente. Fato explicado pela elevada semelhança deste produto com o produto-referência B ($DT_{A-AO}= 18$ segundos).

Os produtos AN, C e AJ se repetiram bastante na Linha 4, em 58,5%, 53,8% e 46,5% das vezes, respectivamente. São produtos que apresentam baixa semelhança com o produto-referência Z ($DT_{Z-AN}= 2.060$ segundos, $DT_{Z-C}= 2.120$ segundos e $DT_{Z-AJ}= 2.120$ segundos), mas têm elevada semelhança entre si, sendo $DT_{AN-C}= 610$ segundos, $DT_{AN-AJ}= 634$ segundos e $DT_{C-AJ}= 86$ segundos. Outra observação é que AN e AJ têm restrições de processo nas linhas 2 e 3, fazendo com que estes produtos somente possam transitar entre as demais linhas.

Para a Linha 5, os produtos que mais vezes se repetiram foram Y, AC, AI e H, todos eles aparecendo mais que 40% das configurações. O produto-referência desta linha – S – apresenta alta semelhança com AC ($DT_{S-AC}= 105$ segundos) e semelhança mediana com os demais ($DT_{S-Y}= 1.163$ segundos, $DT_{S-AI}= 1.468$ segundos, $DT_{S-H}= 1.250$ segundos).

Na Linha 6, o produto-referência AL ocupa grande parte da capacidade produtiva, fazendo com que apenas produtos com demanda inferior a 1,8% possam ser alocados conjuntamente com AL nesta linha. Por conta disso, alguns dos produtos que mais vezes se repetiram na Linha 6 (J, U e AB) não apresentam elevada semelhança com AL, como é o caso de J e U ($DT_{AL-J}= 2.411$ segundos, $DT_{AL-U}= 1.566$ segundos). Já AB, que foi alocado a esta linha 34,9% das configurações apresenta elevada semelhança com AL, sendo $DT_{AL-AB}= 333$ segundos. O Gráfico 6 mostra a melhoria do Índice de Utilização de Tempo.

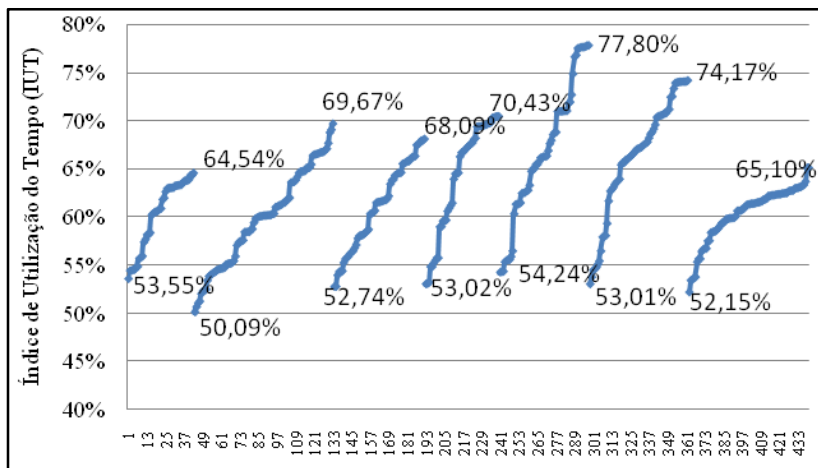


Gráfico 6: Melhoria do IUT para a Abordagem I.

O gráfico mostra o IUT para cada configuração de mix gerada. Os pontos iniciais de cada sequência referem-se às sementes aleatórias geradas. Os trechos de crescimento do IUT referem-se às permutações de produtos entre linhas de montagem tomando como base a semente aleatória em questão (somente as configurações que geraram IUTs melhores que a configuração anterior são consideradas, por isso a sequência é sempre crescente). Quando não se encontra mais configurações que resultem num IUT melhor que anterior, então o algoritmo gera outra semente aleatória e faz novamente o procedimento de melhoria da semente.

Analisando a configuração que gerou o pior IUT (semente aleatória) e a configuração que gerou o melhor IUT, a distribuição dos produtos nas linhas de montagem ficou conforme a Tabela 23 e Tabela 24.

Linha de montagem	1	2	3	4	5	6
Quantidade de produtos	6	8	5	9	11	8
Configuração de mix	M N O AF AG AQ	A C I K Q W AH AS	B V AA AC AP	G R T Z AB AJ AK AT AU	E F H L S X Y AD AN AO AR	D J P U AE AI AL AM
Demanda dos Produtos	15,9%	10,5%	12,3%	16,0%	17,1%	19,4%
Capacidade da Linha	16,4%	14,1%	15,2%	16,4%	18,1%	19,9%
Índice de Utilização de Tempo	50,1%					

Tabela 23: Semente aleatória que gerou o pior IUT – Abordagem 1.

No caso da semente aleatória que gerou a pior configuração, a linha 3 recebeu a menor quantidade de produtos (apenas 3) e a linha 5 recebeu a maior quantidade de produtos (11 produtos). Os demais foram distribuídos entre as demais linhas.

Linha de montagem	1	2	3	4	5	6
Quantidade de produtos	4	9	3	10	19	2
Configuração de mix	F AA AQ AT	A J Q U AE AF AG AO AU	B K V	C E H M T Z AJ AK AM AN	D G I L N O P R S W X Y AC AD AH AI AP AR AS	AB AL
Demanda dos Produtos	14,4%	13,9%	10,9%	16,2%	17,1%	18,9%
Capacidade da Linha	16,4%	14,1%	15,2%	16,4%	18,1%	19,9%
Índice de Utilização de Tempo	77,8%					

Tabela 24: Configuração que gerou o melhor IUT – Abordagem 1.

Nota-se que os produtos AQ, A, B, Z, S e AL em ambas as configurações permanecem na mesma linha de montagem, pois se tratam de produtos-referência, que foram previamente alocados.

Em ambas configurações, a Linha 5 recebeu o maior número de produtos. Isso se explica porque esta linha não tem nenhum produto a ela restrito, como também é o caso da Linha 6. No entanto, para a Linha 6, somente o produto-referência AL já ocupa grande parte de sua capacidade (91,6%), limitando assim as possibilidades de alocação de outros produtos, o que não ocorre na Linha 5 pois esta ainda tem 33,9% de sua capacidade disponível (o produto-referência S ocupa 66,1% da capacidade da linha).

4.3.2 Abordagem 2: Faixas de Tempo-referência

A abordagem proposta de Faixas de tempo-referência tem como objetivo dividir os produtos em famílias igualmente distribuídas em relação à variação de tempo total de operação entre o produto mais simples e o produto mais complexo. Conforme a metodologia apresentada no item 3.6.2, e considerando a disponibilidade de 6 linhas de montagem, a faixa de tempo-referência para o caso estudado é calculada da seguinte forma:

$$\text{maior } T_i = T_{AU} = 4.647 \text{ segundos}$$

$$\text{menor } T_i = T_{AA} = 1.891 \text{ segundos}$$

$$F_{tr} = \frac{4.647 - 1.891}{6} = 459 \text{ segundos}$$

Sendo assim, o primeiro tempo-referência será dado por:

$$tr_1 = 1.891 + \frac{459}{2} = 2.121 \text{ segundos}$$

Os demais tempos-referência serão calculados somando-se a faixa de tempo-referência (459 segundos) ao tempo-referência anterior, conforme mostra o Gráfico 7.

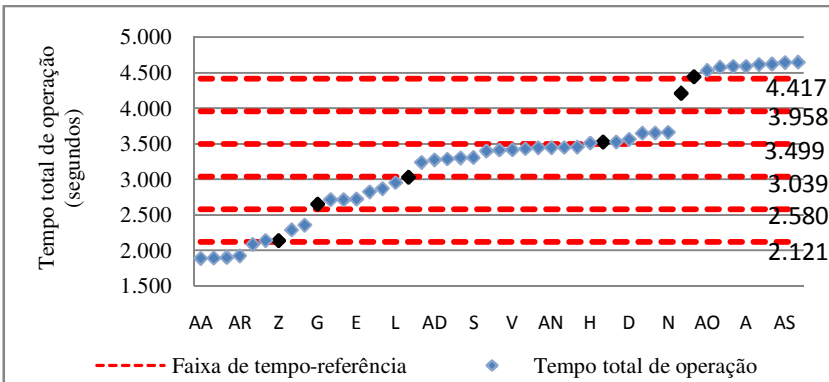


Gráfico 7: Tempo total de operação dos produtos e faixas de tempo-referência.

A partir das faixas de tempo-referência, então se faz a escolha dos produtos-referência, aqueles cujo tempo total de operação mais se assemelham às faixas de tempo. Sendo assim, os produtos-referência para essa abordagem são mostrados na Tabela 25.

tr_j	Tempo total de operação mais próximo	Produto-referência
2121	2141	Z
2580	2647	G
3040	3027	AL
3499	3512	H
3958	4209	Q
4417	4439	AF

Tabela 25: Produtos-referência para a Abordagem 2.

A partir da definição dos produtos-referência, a alocação prévia desses às linhas de montagem foi feita analisando-se as restrições processuais atuais (Tabela 18) e direcionando os produtos àquelas linhas que já são adequadas para produzi-los (não têm restrições processuais), conforme a Tabela 26.

Produto-referência	Linha de Produção Previamente Definida
G	1
Q	2
H	3
Z	4
AF	5
AL	6

Tabela 26: Alocação dos Produtos referência para Abordagem 2.

Para essa abordagem foram utilizados os dados anteriormente mostrados de capacidade de linhas de montagem, demanda dos produtos, restrições de processo e tempos de operação, obtendo-se os resultados apresentados na Tabela 27.

Número de sementes geradas	5
Número de configurações de mix geradas	305
Número de configurações oriundas de sementes	300
Número médio de configurações por semente	60
Tempo total de funcionamento do algoritmo	08:57:21
Percentual de melhoria no IUT [(melhor IUT / pior IUT) - 1]	40,8%

Tabela 27: Indicadores de utilização do algoritmo para Abordagem 2.

Apesar de o algoritmo ter funcionado por um tempo aproximado ao tempo aplicado na Abordagem 1, o número de sementes e configurações geradas foi um pouco menor. Também o percentual de melhoria do IUT da abordagem 1 foi maior.

O Gráfico 8 mostra a frequência em que cada produto foi alocado a cada linha de montagem.

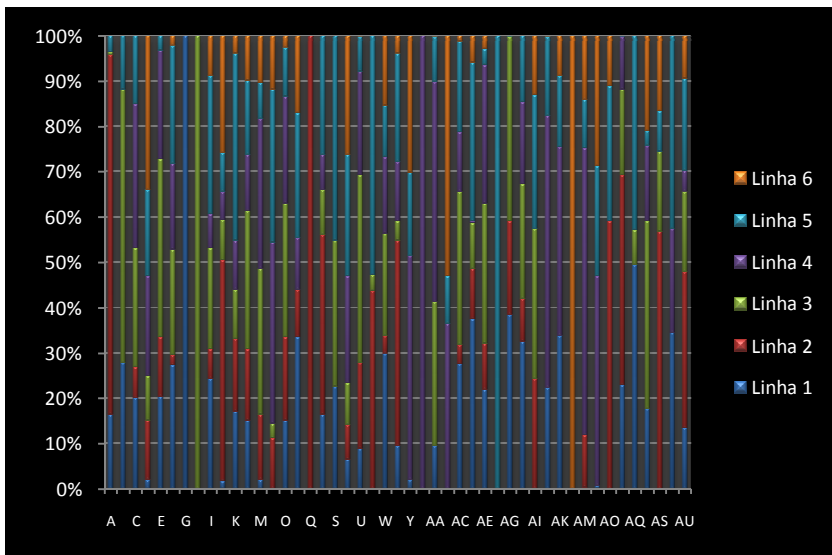


Gráfico 8: Percentual de alocação de cada produto em cada linha de montagem para a Abordagem 2.

Como previsto, os produtos-referência (G, H, Q, Z, AF e AL) permaneceram sempre na linha de montagem previamente definida. Da mesma forma, os produtos que tinham restrições de processo (Tabela 18) não foram alocados para as linhas as quais estavam restritos (por exemplo, o produto V não foi alocado às linhas 1 e 4).

Os produtos com maior frequência em determinada linha de montagem foram: AQ na linha 1 (49,5%); A na linha 2 (79,3%); B na linha 3 (60,3%); AM na linha 4 (63,3%); V na linha 5 (52,8%); e AB na linha 6 (53,1%).

Apesar de não ter nenhuma restrição de processo, o produto AQ tem alta demanda (11,4%) o que inviabiliza de alocá-lo nas linhas 4 e 6, pois a somatória da demanda desse produto com a demanda do produto-referência dessas linhas já ultrapassa a capacidade das linhas. Sendo assim, o produto AQ pode ser alocado às outras 4 linhas, porém como tem semelhança com o produto-referência G, é alocado com maior frequência na linha 1 pois essa alocação melhora o Índice de Utilização do Tempo.

No caso do produto A, que também não tem restrição processual, teoricamente pelo conceito da Abordagem 2 – agrupar na mesma linha de montagem produtos que tenham tempo total de operação (T_i) mais semelhante possível – sua alocação deveria ter maior frequência na linha 5, conjuntamente com o produto-referência AF cujo $T_{AF}= 4439$ segundos, no entanto, nota-se uma grande repetição do produto A ($T_A= 4591$ segundos) na linha 2, cujo produto-referência é Q ($T_Q= 4209$ segundos). Isso é explicado pelo indicador diferença de tempo entre produtos, pois tanto DT_{A-Q} quanto DT_{A-AF} são iguais a 408 segundos, apresentando elevada semelhança.

Já o produto B ($T_B= 3400$ segundos) é alocado mais de 60% das configurações na linha 3, com o produto-referência cujo tempo total de operação é o mais próximo possível ($T_H= 3512$ segundos).

O produto AM ($T_{AM}= 3449$ segundos) aproxima-se mais do produto-referência H ($T_H= 3512$ segundos), que está alocado à linha 3. Porém existe a restrição processual quanto à produção do produto AM nesta linha, necessitando realocá-lo nas demais. No entanto, a maior frequência de alocação do produto AM ficou na linha 4, juntamente com o produto-referência Z – o menor tempo total de operação entre os produtos-referência ($T_Z= 2121$ segundos). Esse par de produtos é considerado de baixa semelhança ($DT_{Z-AM}= 2064$ segundos).

A alocação mais freqüente do produto V ($T_V= 3418$ segundos) foi na linha 5 (produto-referência AF com $T_{AF}= 4439$ segundos). Porém, V

aparece com elevada frequência também na linha 2 (produto-referência Q com $T_Q = 4209$ segundos). A diferença de tempo entre produtos dos pares V-AF e V-Q são bastante próximas, ambas classificadas como baixa semelhança ($DT_{V-AF} = 1863$ segundos e $DT_{V-Q} = 1731$ segundos). A demanda representativa deste produto inviabiliza de alocá-lo à linha 6 (produto-referência AL com $T_{AL} = 3027$ segundos) e as restrições de processo inviabilizam de produzi-lo nas linhas 1 e 4.

Na linha 6 (produto-referência AL com $T_{AL} = 3027$ segundos), o produto mais freqüente foi AB ($T_{AB} = 2824$ segundos). Apesar de o tempo total de operação do produto AB ser mais próximo do produto-referência G ($T_G = 2647$ segundos), AB foi mais frequentemente alocado com AL, dada a menor diferença de tempo entre produtos ($DT_{AB-G} = 613$ segundos e $DT_{AB-AL} = 333$ segundos).

O Gráfico 9 mostra a evolução do Índice de Utilização do Tempo em cada configuração de mix.

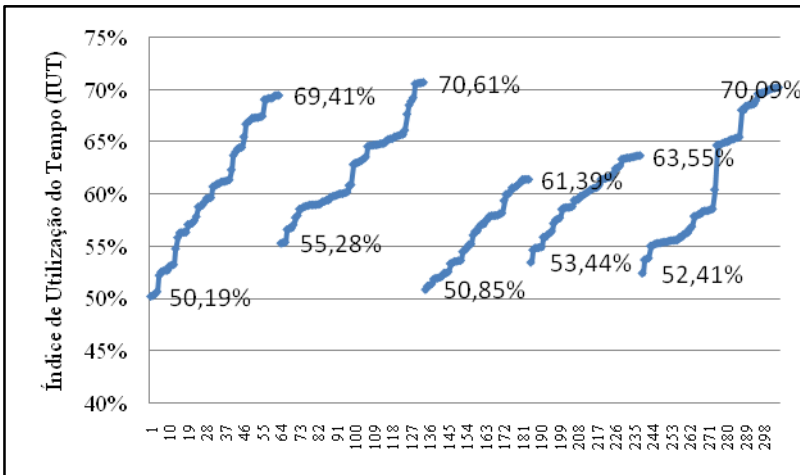


Gráfico 9: Melhoria do IUT para a Abordagem 2.

Na Tabela 28 e na Tabela 29 são mostradas as configurações de mix que gerou o pior Índice de Utilização do Tempo (primeira semente aleatória) e que gerou o melhor IUT, originária da melhoria da segunda semente.

Linha de montagem	1	2	3	4	5	6
Quantidade de produtos	6	7	10	7	9	8
Configuração de	C G AH AK AQ AT	M P Q V AG AI AS	A B D H O U W AC AE AP	N R Z AA AB AJ AM	E F K S T AD AF AO AU	I J L X Y AL AN AR
Demanda dos Produtos	14,1%	11,2%	13,8%	14,9%	17,9%	19,3%
Capacidade da Linha	16,4%	14,1%	15,2%	16,4%	18,1%	19,9%
Índice de Utilização de Tempo	50,2%					

Tabela 28: Semente aleatória que gerou o pior IUT – Abordagem 2.

Linha de montagem	1	2	3	4	5	6
Quantidade de produtos	10	9	6	10	9	3
Configuração de	B G K P W AE AG AH AR AT	A J Q R X AO AP AS AU	F H M S AA AC	C D E N T Y Z AJ AK AM	I L U V AD AF AI AN AQ	O AB AL
Demanda dos Produtos	14,9%	11,7%	14,9%	15,6%	14,5%	19,7%
Capacidade da Linha	16,4%	14,1%	15,2%	16,4%	18,1%	19,9%
Índice de Utilização de Tempo	70,7%					

Tabela 29: Configuração que gerou o melhor IUT – Abordagem 2.

Pode-se verificar que o produto AT permaneceu na linha 1, juntamente com o produto-referência G, em ambas as configurações. A

união desses dois produtos na mesma linha aconteceu para 34,4% das soluções, devido à alta semelhança entre os produtos. O produto AH também se manteve com o produto-referência G nas duas situações e em 32,5% das configurações. Os produtos AS e AC alocados às linhas 2 e 3 respectivamente, nas configurações apresentadas, aparecem significativas vezes nessas linhas para as demais configurações (56,7% e 33,8%), apesar de terem a demanda baixa, pouca ou nenhuma restrição de processo e não apresentarem elevada semelhança com o produto-referência dessas linhas.

Os produtos N, AJ e AM apresentam elevada semelhança entre si, tendo seu tempo total de operação de 3663, 3527 e 3449 segundos e apareceram repetidas vezes na linha 4 (em 40% ou mais das configurações estão nessa linha).

Apesar de o produto AD aparecer em ambas as configurações mostradas na Tabela 28 e na Tabela 29 na linha 5 (35,1% das vezes), este produto tem sua maior frequência na linha 1 (37,4%). O produto AB na semente aleatória ficou alocado à linha 4, porém aparece na linha 6 na configuração melhorada e em 53,1% das situações, dado à elevada semelhança de operações com o produto-referência AL e as restrições de processo em relação à sua produção nas linhas 2 e 3.

4.3.3 Abordagem 3: Produção Focada

Para a alocação de refrigeradores e *freezers* às linhas de montagem, a abordagem da Produção focada propõe o agrupamento de produtos de alta demanda a algumas linhas, fazendo com que estas sejam linhas com pouca variedade de modelos – seriam a “linhas de montagem focadas” – e agrupar uma grande quantidade de modelos ao menor número de linhas de montagem, fazendo com que estas sejam linhas super-compartilhadas.

Analisando o Gráfico 3, selecionou-se os 10 produtos (21,3%) que correspondem a 81,1% da demanda para serem agrupados em 5 linhas de montagem, deixando os outros 37 produtos para ser produzidos em uma única linha.

Ou seja, para a abordagem 3, ao invés de 6 produtos referência (1 para cada linha de montagem) como foi utilizado nas duas abordagens, se terá 37 produtos-referência, todos alocados a mesma linha de montagem. Por ser uma das linhas mais flexíveis, a linha de montagem 5 foi eleita para ser a linha que receberá o grande grupo de produtos. Na

Tabela 30 mostra-se a listagem dos produtos previamente alocados à linha de montagem 5, que são os produtos-referência desta abordagem.

Produtos previamente alocados à Linha 5				
C	K	U	AE	AO
D	L	W	AF	AP
E	M	X	AH	AR
F	N	Y	AI	AS
G	O	AA	AJ	AU
H	P	AB	AK	
I	R	AC	AM	
J	T	AD	AN	

Tabela 30: Lista dos produtos-referência para Abordagem 3.

No entanto, para viabilizar essa abordagem, deve-se alterar as restrições de processo, a fim de permitir que os 10 produtos não alocados previamente possam transitar somente entre as outras linhas (1, 2, 3, 4 e 6). As demais restrições de processo apresentadas na Tabela 18 referentes aos produtos não previamente alocados na Abordagem 3 foram mantidas (restrições relativas aos produtos V e AT). Já as restrições relativas aos produtos previamente alocados foram retiradas, uma vez que esses já estão definidos na linha de montagem 5. Adicionalmente, foram acrescentadas restrições para inviabilizar a alocação dos 10 produtos restantes (não previamente alocados) na linha 5. O objetivo de acrescentar estas restrições é garantir que os 10 produtos restantes serão alocados a qualquer uma das outras linhas de montagem, com exceção da linha 5, que deve produzir somente os produtos previamente alocados de baixa demanda. Sendo assim, as restrições processuais para esta abordagem são mostradas na Tabela 31.

Produtos restritos a Linha 2	Produtos restritos a Linha 3	Produtos restritos a Linha 4	Produtos restritos a Linha 5
AT	AT	V	AL A S AG Z Q AQ V B AT

Tabela 31: Restrições de processo para a Abordagem 3.

Nota-se que os produtos listados Tabela 31 são diferentes dos produtos da Tabela 30 (produtos previamente alocados). Na verdade os

produtos da Tabela 31 são os produtos complementares da Tabela 30, pois não devem ser alocados à linha 5 (devido à alta demanda) e por isso, faz-se necessário restringir a alocação destes produtos a essa linha.

Os indicadores da utilização do algoritmo são mostrados na Tabela 32.

Número de sementes geradas	2
Número de configurações de mix geradas	7
Número de configurações oriundas de sementes	5
Número médio de configurações por semente	2,5
Tempo total de funcionamento do algoritmo	08:33:50
Percentual de melhoria no IUT [(melhor IUT / pior IUT) - 1]	7,9%

Tabela 32: Indicadores de utilização do algoritmo para Abordagem 3.

Apesar de o tempo de funcionamento do algoritmo ter sido semelhante ao tempo utilizado pelas abordagens anteriores, a abordagem da Produção Focada gerou muito menos configurações de mix. Isso se deve a pré-alocação de um número grande de produtos (37), o que reduz significativamente as possibilidades de diferentes configurações.

No Gráfico 10 é mostrado o percentual de alocação de cada produto para cada linha de montagem para a Abordagem 3.

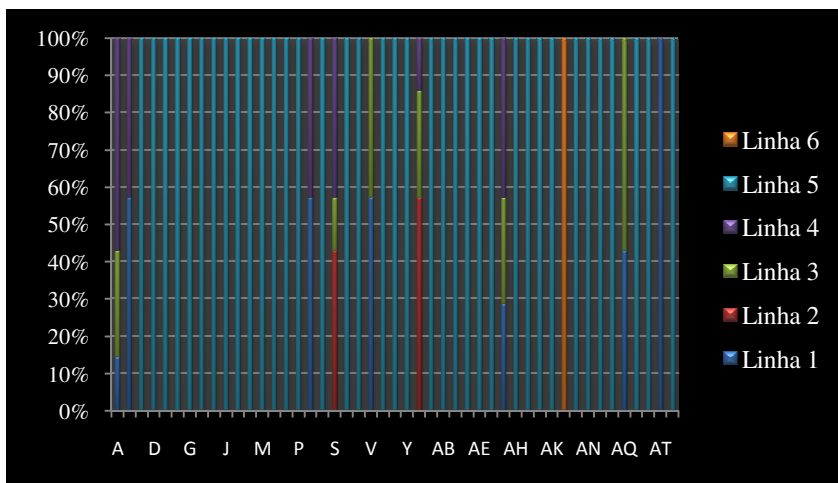


Gráfico 10: Percentual de alocação de cada produto em cada linha de montagem para a Abordagem 3.

Os 37 produtos previamente alocados aparecem 100% das vezes na linha 5 (barra azul clara). O produto AT, apesar de não ter sido previamente alocado, teve 100% de sua incidência na linha 1, pois estava restrito às linhas 2, 3 e 5. Certamente sua alocação às linhas 4 e 6 não gerou melhoria no Índice de Utilização do Tempo, por isso não aparece nenhuma das vezes nessas linhas. Os produtos B e V, que tem elevada semelhança entre si ($DT_{B-V} = 18$ segundos), foram mais frequentemente alocados à linha 1 (em 57,1% das configurações).

O produto Z, apesar de ter restrição de processo apenas na linha 5, apareceu em 57,1% na linha 2. Como esse produto tem uma demanda alta, quando ele foi alocado à linha 2 sobrou pouco espaço na capacidade da linha para absorver outros produtos, de modo que nessas configurações o produto Z ficou sozinho nessa linha. Essa situação se repete na alocação do produto S à linha 2 (42,9% das configurações), que nessas configurações também ficou sozinho.

Na linha 3, o produto de maior incidência foi AQ (57,1%). Em metade das vezes em que o produto AQ esteve na linha 3, juntamente com ele foi alocado o produto AG, apesar de que esses produtos apresentem semelhança mediana de tempo de operação entre si ($DT_{AQ-AG} = 1399$ segundos).

Em todas as configurações da Abordagem 3, a linha 4 teve, no mínimo, 2 modelos a ela alocados. O produto A foi aquele que apareceu com maior frequência nesta linha (57,1%). Os produtos B e Q, que

apresentam semelhança mediana e alta, respectivamente, com o produto A ($DT_{A-B}= 1993$ e $DT_{A-Q}= 408$ segundos), também foram alocados com frequência nessa linha (42,9% das vezes).

Na linha 6, em todas as configurações, somente o produto AL foi alocado. Fato esse explicado pela elevada demanda desse produto, que só pode ser alocado à linha 6, pois esta é a linha com maior capacidade de produção.

O Gráfico 11 mostra a melhoria do Índice de Utilização do Tempo para a Abordagem 3, incluindo a evolução do indicador para as 7 configurações de mix (sendo 2 sementes) geradas pelo algoritmo.

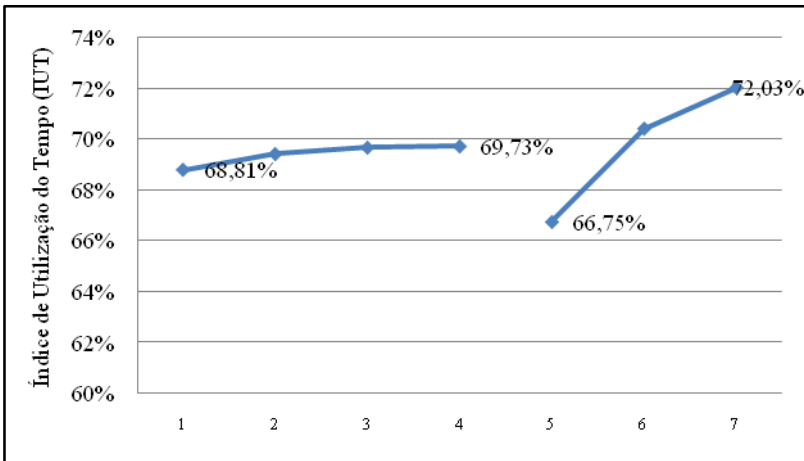


Gráfico 11: Melhoria do IUT para a Abordagem 3.

A Tabela 33 e mostra a alocação dos produtos na configuração que gerou o pior IUT (2ª semente aleatória) e a Tabela 34 mostra a alocação dos produtos na configuração que gerou o melhor IUT (melhoria da 2ª semente).

Linha de montagem	1	2	3	4	5	6
Quantidade de produtos	3	1	2	3	37	1
Configuração de mix	Q AQ AT	S	V Z	A B AG	C P AF D R AH E T AI F U AJ G W AK H X AM I Y AN J AA AO K AB AP L AC AR M AD AS N AE AU O	AL
Demanda dos Produtos	16,1%	11,9%	13,9%	15,3%	16,0%	5,3%
Capacidade da Linha	16,4%	14,1%	15,2%	16,4%	18,1%	19,9%
Índice de Utilização de Tempo	66,8%					

Tabela 33: Semente aleatória que gerou o pior IUT – Abordagem 3.

Linha de montagem	1	2	3	4	5	6
Quantidade de produtos	3	1	2	3	37	1
Configuração de mix	AG AQ AT	Z	S V	A B Q	C P AF D R AH E T AI F U AJ G W AK H X AM I Y AN J AA AO K AB AP L AC AR M AD AS N AE AU O	AL
Demanda dos Produtos	16,2%	11,1%	14,7%	15,2%	16,0%	5,4%
Capacidade da Linha	16,4%	14,1%	15,2%	16,4%	18,1%	19,9%
Índice de Utilização de Tempo	72,0%					

Tabela 34: Configuração que gerou o melhor IUT – Abordagem 3.

Na segunda semente aleatória (pior IUT), tem-se o agrupamento dos produtos Q, AQ e AT na linha 1. Os produtos AQ e AT apresentam elevada semelhança de tempos de operações entre si ($DT_{AQ-AT} = 122$ segundos), tanto que aparecem juntos também na configuração que gerou o melhor IUT. Na linha 1, as configurações apresentadas diferem-se pela substituição do produto Q (segunda semente) pelo produto AG (melhoria da segunda semente). Isso se deve a diferença de tempo de operação entre os pares Q-AQ e Q-AT ($DT_{Q-AQ} = 2503$ segundos e $DT_{Q-AT} = 2549$ segundos) ser maior do que a diferença entre os pares AG-AQ e AG-AT ($DT_{AG-AQ} = 1399$ segundos e $DT_{AG-AT} = 1521$ segundos), que aparecem juntos com AG na linha 1 na configuração que tem o melhor IUT.

Nas duas configurações, a linha 2 teve apenas 1 produto a ela alocado. Na linha 3, em ambas as situações apresentadas, o produto V está nesta linha, porém na configuração que gerou o pior IUT está agrupado com o produto Z ($DT_{V-Z} = 1855$ segundos) e na configuração que gerou o melhor IUT, está com o produto S ($DT_{V-S} = 1860$ segundos). A diferença de tempo de operação entre os pares V-Z e V-S é muito parecida, mas, para calcular o IUT essa diferença ainda é multiplicada pelo percentual da demanda. Como a demanda de Z é maior que a demanda de S, para o cálculo do IUT essa discrepância de tempo é potencializada pela demanda, mais do que os 5 segundos a mais que existe na diferença de tempo de operação de V-S, em relação à diferença de tempo de operação de V-Z.

Os produtos A e B, nas duas configurações apresentadas, estavam presentes na linha 4. Na segunda semente, juntamente com eles estava o produto AG e na melhoria da segunda semente, AG foi substituído por Q, pois as diferenças de tempo de operação A-AG e B-AG são maiores que as diferenças de tempo de operação A-Q e B-Q ($DT_{A-AG} = 2476$ segundos e $DT_{B-AG} = 1583$ segundos; $DT_{A-Q} = 408$ segundos e $DT_{B-Q} = 1737$ segundos).

4.3.4 Abordagem 4: Produção Modular

No caso estudado na empresa de linha branca, nota-se a existência de várias atividades de “preparação” de peças, que na prática são atividades de pré-montagem, executadas na própria linha de montagem. Ou seja, as atividades de preparação não precisam necessariamente serem feitas na própria linha de montagem, podendo ser realizadas em células menores anexas às linhas ou até mesmo em

fornecedores, e serem entregues de forma sequenciada em pequenos intervalos de tempos como é feito na manufatura modular.

Em especial, o caso da preparação e injeção de gabinetes e de portas do refrigerador se adequam bastante à característica da Produção Modular. No caso de considerar estas peças como módulos, diferentemente do que é executado hoje, a injeção de poliuretano não precisaria ser feita na própria linha de montagem. Teoricamente esta solução parece interessante, uma vez que os equipamentos de injeção de PU são grandes equipamentos, com alto tempo de *setup* de molde (cerca de 30 min para gabinetes e chegando a quase 2h para o caso de portas) e tem características de produção em lote, em outras palavras, são considerados os “monumentos ao desperdício” referenciados pela literatura de Manufatura Enxuta. Com essas características, estes equipamentos se assemelham muito mais aos equipamentos de fabricação de gabinetes e portas e aos equipamentos de pintura do que com a própria linha de montagem, que tem muito mais flexibilidade.

Neste caso, ter-se-ia uma linha de montagem menor e menos automatizada – uma vez que os grandes equipamentos são exatamente as injetoras de poliuretano – com atividades mais simples, onde o gabinete chegaria no início da linha de montagem, e a partir de então as operações de montagem começariam a ser executadas sobre esta peça base; e a porta chegaria pronta ao final da linha, para finalizar a montagem do refrigerador ou *freezer*.

Nesta configuração, das 80 operações de montagem levantadas inicialmente, 14 delas seriam agrupadas para formar uma ou mais unidades de montagem modular de gabinetes e 9 operações formariam uma ou mais unidades de montagem modular de portas. Para uma linha de montagem qualquer, considerando que todas as outras operações sejam necessárias para a montagem dos produtos pertencentes a esta linha, ter-se-ia 57 operações de montagem para serem executadas na linha de montagem propriamente dita, que são mostradas na Tabela 35.

Nº da Operação	Descrição da Operação
15	Verificar divisor central
16	Soldar peças
17	Retirar dispositivos
18	Fixar Base do Compressor
19	Fixar rodízio
20	Fixar pé
21	Fixar buchas

Nº da Operação	Descrição da Operação
22	Fixar difusor
23	Posicionar Lâmpada
24	Limpar
25	Fixar evaporador aletado
26	Fixar placa evaporadora
27	Posicionar tubo
28	Soldar evaporador
29	Fixar trilho
30	Posicionar Prateleiras 1
31	Posicionar Prateleiras 2
32	Fixar gaveta
33	Fixar condensador
35	Fixar compressor
36	Fixar cordão de alimentação
37	Fixar Fio
38	Preparar Kits 1
48	Fixar Capa 2
49	Fixar puxador
50	Fixar Porta Refrigerador
51	Fixar Dobradiça 2
52	Preparar porta interna
53	Fixar porta Freezer
54	Posicionar Emblema
55	Fixar console
56	Aplicar acabamento 1
57	Fixar prateleiras 1
58	Soldar Compressor
59	Carregar Gás volátil
60	Fixar ventilador
61	Preparar Kits 2
62	Testar vazamento 1
63	Testar vazamento de gás volátil
64	Realizar vácuo
65	Carregar Gás 2
66	Testar Vazamento 2
67	Testar Vazamento 3
68	Fixar Capa 1
69	Realizar teste de segurança
70	Realizar teste de rendimento

Nº da Operação	Descrição da Operação
71	Testar Vazamento 4
72	Posicionar documentações
73	Posicionar Prateleiras 3
74	Aplicar acabamento 2
75	Fixar Prateleiras 2
76	Fixar prateleiras 3
77	Fixar recipiente compressor
78	Preparar Kits 3
79	Colocar duto
80	Colocar embalagens

Tabela 35: Operações a serem executadas na linha de montagem propriamente dita para a Abordagem 4.

Nesta abordagem foi utilizada a mesma metodologia de definição dos produtos-referência que foi utilizado no item 4.3.1, ou seja, aqueles modelos com maior demanda (A, B, S, Z, AL e AQ), alocados as mesmas linhas, conforme Tabela 21. Evidentemente, a base de dados para cálculo da diferença de tempo entre os demais modelos e os produtos-referência fica restrita às operações que serão executadas na própria linha de montagem, excluindo-se as operações que serão executadas nas unidades de montagem modular. Com isso, a matriz de diferença de tempo é alterada, pois leva em consideração apenas as 57 operações e não as 80 operações iniciais. Outra diferença é em relação às restrições processuais. Como as restrições são majoritariamente relativas aos grandes equipamentos – injetoras de poliuretano de gabinetes e de portas – então as restrições não existiriam mais na linha de montagem caso a abordagem da Produção Modular fosse utilizada. Por isso, para esta abordagem, as restrições processuais originais (Tabela 18) foram excluídas.

A demanda dos produtos e a capacidade das linhas de montagem foram mantidas as mesmas (Gráfico 3 e Tabela 19).

Com os dados anteriormente descritos, foi utilizado o algoritmo para gerar as configurações de mix para as linhas concentrarão exclusivamente atividades de montagem. Na Tabela 36 são apresentados os indicadores de utilização do algoritmo.

Número de sementes geradas	6
Número de configurações de mix geradas	520
Número de configurações oriundas de sementes	514
Número médio de configurações por semente	86
Tempo total de funcionamento do algoritmo	08:33:41
Percentual de melhoria no IUT [(melhor IUT / pior IUT) - 1]	58,8%

Tabela 36: Indicadores de utilização do algoritmo para Abordagem 4 – Operações de Montagem.

O Gráfico 12 mostra a frequência de alocação de cada produto para cada linha de montagem.

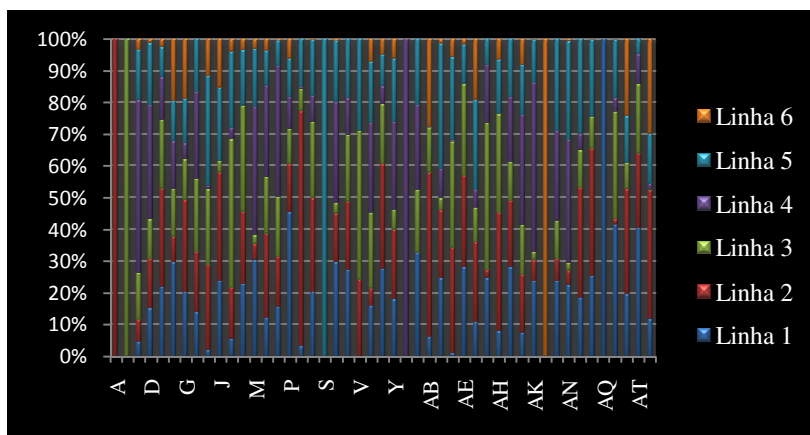


Gráfico 12: Percentual de alocação de cada produto em cada linha de montagem para a Abordagem 4.

Dentre todas as abordagens apresentadas, a abordagem 4 é aquela que apresenta maior distribuição de um mesmo produto entre diversas linhas de montagem, considerando todas as configurações de mix. Ou seja, em poucos casos determinado produto fica com um alto percentual de alocação em uma única linha. Certamente, a causa dessa melhor distribuição entre as linhas de montagem é a exclusão das restrições de processo. Devido à retirada das restrições, naturalmente surgem mais possibilidades de alocação de determinado produto e, com mais

possibilidades, se reduz a concentração do produto em algumas linhas específicas.

Na linha 1, os produtos que tiveram maior incidência – além do produto-referência AQ – levando em consideração as 520 configurações foram: F, P, AA, AR e AT. A relação desses produtos com o produto-referência, para todos os casos, é de elevada semelhança: AQ-AT ($DT_{AQ-AT}= 94$ segundos), AQ-P ($DT_{AQ-P}= 259$ segundos), AQ-F ($DT_{AQ-F}= 423$ segundos), AQ-AA ($DT_{AQ-AA}= 424$ segundos), AQ-AR ($DT_{AQ-AR}= 439$ segundos).

Alguns produtos apareceram com maior frequência na linha 2. A relação entre esses produtos e o produto-referência é de:

- Elevada semelhança para: A-AO ($DT_{A-AO}= 41$ segundos), A-AS ($DT_{A-AS}= 51$ segundos), A-X ($DT_{A-X}= 57$ segundos), A-R ($DT_{A-R}= 116$ segundos), A-F ($DT_{A-AF}= 143$ segundos), A-AP ($DT_{A-AP}= 176$ segundos), A-J ($DT_{A-J}= 185$ segundos), A-Q ($DT_{A-Q}= 283$ segundos);
- Semelhança mediana para: A-AH ($DT_{A-AH}= 1341$ segundos), A-I ($DT_{A-I}= 1442$ segundos), A-AD ($DT_{A-AD}= 1460$ segundos), A-AE ($DT_{A-AE}= 1494$ segundos), A-AB ($DT_{A-AB}= 1569$ segundos), A-G ($DT_{A-G}= 1648$ segundos) e A-AT ($DT_{A-AT}= 1714$ segundos);
- Baixa semelhança para: A-E ($DT_{A-E}= 1721$ segundos).

Nota-se que a maioria desses produtos tem demanda menor que 1%, ou seja, para o cálculo do IUT, a contribuição de tempo adicional em relação aos modelos de baixa demanda é reduzida. Dos produtos anteriormente comentados, apenas 3 apresentam demanda maior que 1% sendo eles: Q (3,8%), E (1,7%) e AO (1,2%).

Na linha 3, na qual o produto-referência é B ($T_B= 1929$ segundos), os produtos mais frequentes juntamente com B foram K ($T_K= 1938$ segundos), L ($T_L= 1453$ segundos), V ($T_V= 1935$ segundos), AD ($T_{AD}= 1783$ segundos), AG ($T_{AG}= 1351$ segundos), AH ($T_{AH}= 1944$ segundos) e AR ($T_{AR}= 1066$ segundos). Pode-se perceber também que os produtos que tem o tempo total de operação mais próximo ao tempo de B são aqueles que apresentam a menor diferença de tempo com o produto-referência, nesse caso K ($DT_{B-K}= 15$ segundos), V ($DT_{B-V}= 6$ segundos), AH ($DT_{B-AH}= 15$ segundos). Entre eles, K, V e AH também apresentam elevada semelhança, sendo $DT_{K-V}= 21$ segundos, $DT_{K-AH}= 6$ segundos e $DT_{V-AH}= 21$ segundos.

Os produtos L e AD, que tem tempo total de operação variando até 476 segundos do tempo total de operação de B, ainda permanecem

no grupo dos produtos classificados como de elevada semelhança com o produto-referência pois $DT_{B-L}= 570$ segundos e $DT_{B-AD}= 312$ segundos. Os demais produtos com alta frequência de alocação na linha 3 apresentam semelhança mediana com B: $DT_{B-AG}= 1054$ segundos, $DT_{B-AR}= 1187$ segundos.

Dentre os produtos mais frequentemente alocados juntamente com o produto-referência Z na linha 4 (C, D, H, M, O, T, W, Y, AJ, AK, AN) somente 2 deles apresentam elevada semelhança com Z ($DT_{Z-O}= 43$ segundos e $DT_{Z-W}= 197$ segundos). Essa baixa alocação de produtos com elevada semelhança com Z deve-se ao fato de que Z possui demanda alta, ocupando 67,8% da capacidade da linha 4 e reduzindo as possibilidades de diferentes configurações de mix. Os demais produtos ficaram todos na classe de semelhança mediana em relação ao produto-referência B.

Na linha 5, cujo produto-referência é S ($T_S= 2543$ segundos), os produtos I, AC, AF e AM apareceram mais repetidamente que os demais. Dentre eles, os produtos que apresentam elevada semelhança com o produto-referência são AC ($DT_{S-AC}= 90$ segundos) e AM ($DT_{S-AM}= 399$ segundos).

O produto-referência da linha 6, AL, é aquele que apresenta maior demanda, ocupando 90,9% da capacidade da linha. Por esse motivo, essa linha é aquela que recebe a menor quantidade de produtos adicionais, sendo que, por conta da restrição de capacidade, somente pode ser a ela alocados os produtos com demanda menor que 1,8%. Os produtos que foram mais frequentemente alocados juntamente com AL foram F, G, AB, AF, AS e AU.

Gráfico 13 mostra a evolução do Índice de Utilização do Tempo para as configurações de mix geradas.

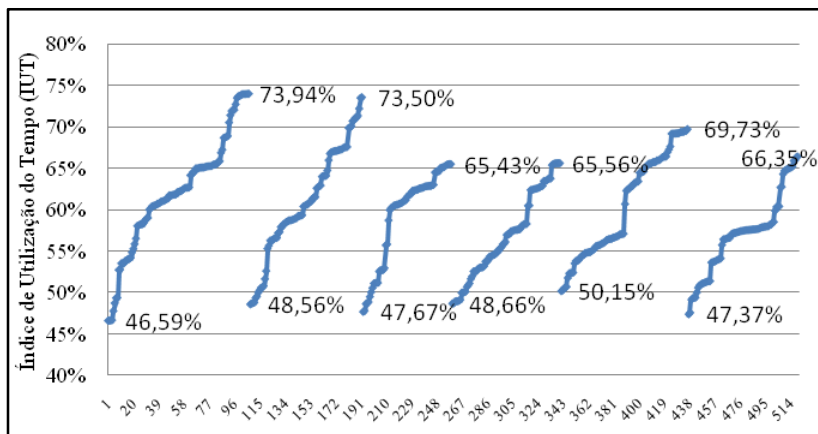


Gráfico 13: Melhoria do IUT para a Abordagem 4 – Operações de Montagem.

Coincidentemente, o pior IUT (46,59%) e o melhor IUT (73,94%) originam-se da mesma semente aleatória, a primeira semente.

A Tabela 37 mostra a alocação dos produtos no caso da semente aleatória que gerou o pior IUT.

Linha de Montagem	1	2	3	4	5	6
Quantidade de produtos	8	14	7	5	10	3
Configuração de mix	E N P X AA AE AQ AR	A C I K M O Q T U AB AC AH AI AJ	B R AD AF AG AN AT	F Y Z AK AO	D G H S V W AM AP AS AU	J L AL
Demanda dos Produtos	14,4%	13,9%	14,8%	13,2%	16,9%	18,1%
Capacidade da Linha	16,4%	14,1%	15,2%	16,4%	18,1%	19,9%
Índice de Utilização de Tempo	46,6%					

Tabela 37: Semente aleatória que gerou o pior IUT.

Neste caso, as linhas de montagem 1, 3 e 5 receberam, respectivamente, 8, 7 e 10 produtos. A linha 6 recebeu a menor quantidade de produtos, apenas 3 e a linha 2 concentrou um grande número de produtos, 14.

A Tabela 38 mostra a alocação dos produtos no caso da configuração que gerou o melhor IUT.

Linha de Montagem	1	2	3	4	5	6
Quantidade de produtos	9	13	8	5	11	1
Configuração de mix	P R X AF AO AP AQ AR AT	A D E G J Q AB AD AH AI AN AS AU	B I K L U V AE AG	F O W Z AA	C H M N S T Y AC AJ AK AM	AL
Demanda dos Produtos	16,3%	12,3%	14,9%	14,2%	15,6%	18,1%
Capacidade da Linha	16,4%	14,1%	15,2%	16,4%	18,1%	19,9%
Índice de Utilização de Tempo	74,0%					

Tabela 38: Comparativo entre configurações para Abordagem 4 – Operações de Montagem.

Na linha 1, tanto na configuração que gerou o pior IUT quanto na configuração que gerou o melhor IUT, os produtos AR e X ficaram alocados juntamente com o produto-referência AQ. Conforme já comentado anteriormente, AR se repete com frequência na linha 1 e apresenta relação com AQ de elevada semelhança. A relação de AQ-X é de semelhança mediana ($DT_{AQ-X} = 1701$ segundos) – quase no grupo de baixa semelhança, no entanto, a contribuição de tempo adicional para o IUT é reduzida, dada a baixa demanda de X (0,7%).

Para a linha 2 (produto-referência A), na semente 1 foram agrupados 14 produtos, enquanto que na melhoria dessa semente ficaram 13 produtos. Os produtos que se repetiram em ambas as configurações foram Q, AB, AH e AI, sendo que os 3 primeiros tiveram alta frequência de repetição em todas as configurações ($DT_{A-Q} = 283$ segundos, $DT_{A-AB} = 1569$ segundos, $DT_{A-AH} = 1341$ segundos). A relação A-AI fica classificada como de baixa semelhança, com $DT_{A-AI} = 1867$ segundos.

Em relação à linha 3, somente o produto AG se repetiu nas duas configurações apresentadas. Conforme já descrito anteriormente, AG faz

parte do grupo de produtos que teve maior frequência de alocação nessa linha.

A linha 4, nos dois cenários, teve 5 produtos a ela alocados. No entanto, na primeira semente concentrou 13,2% da demanda enquanto que na melhoria dessa semente, a demanda para essa linha aumentou em 1%, ou seja, 14,2%. O produto F, nas duas configurações, ficou alocado juntamente com o produto-referência Z (ainda a maior frequência de alocação de F, em relação a todas as configurações, seja na linha 1). Esse fato pode ser explicado pela elevada semelhança do par, sendo $DT_{Z,F} = 204$ segundos.

Nas duas configurações apresentadas, a linha 5 concentrou um grande número de produtos, sendo na primeira configuração 10 produtos (com demanda acumulada de 16,9%) e na segunda 11 (com demanda acumulada de 15,6%). Os produtos H e AM foram alocados juntamente com o produto-referência Z nas duas configurações. Tanto para H quanto para AM (que faz parte do grupo de produtos que mais se repetiram na linha 5), a relação com o produto-referência é classificada como de elevada semelhança ($DT_{S,H} = 126$ segundos e $DT_{S,AM} = 399$ segundos). Nota-se também que, para a configuração que gerou o melhor IUT, todos os outros produtos alocados na linha 5 apresentam elevada semelhança com S ($DT_{S,C} = 191$ segundos, $DT_{S,M} = 194$ segundos, $DT_{S,N} = 186$ segundos, $DT_{S,T} = 177$ segundos, $DT_{S,Y} = 186$ segundos, $DT_{S,AC} = 90$ segundos, $DT_{S,AJ} = 125$ segundos, $DT_{S,AK} = 194$ segundos).

Na linha 6, na primeira configuração apresentada foram alocados, além do produto-referência AL, mais 2 produtos a esta linha: J e L com $DT_{AL,J} = 1500$ segundos e $DT_{AL,L} = 1466$ segundos (ambos apresentando semelhança mediana com AL). Na melhoria da semente, no entanto, AL fica sozinho na linha 6.

Para analisar essa abordagem por completo, foi necessário utilizar o algoritmo também para gerar as configurações de mix para as unidades de montagem modular. No caso estudado, trata-se de duas unidades:

- Unidade de Montagem Modular de Gabinetes: onde seriam realizadas as operações de preparação e injeção de poliuretano de gabinetes, conforme a Tabela 39.

Nº da operação	Descrição da operação
1	Fixar dobradiça 1
2	Montar fundo inferior
3	Fixar Rede Elétrica
4	Montar fundo trazeiro
5	Fixar tubo aquecedor
6	Fixar Caixa pequena
7	Fixar divisor central
8	Fixar dobradiça 3
9	Posicionar divisor intermediário
10	Fixar Caixa grande
11	Preparar divisor central
12	Preparar Caixa pequena
13	Preparar Caixa grande
14	Injetar PU 1

Tabela 39: Operações da Unidade de Montagem Modular de Gabinetes.

- Unidade de Montagem Modular de Portas: onde seriam realizadas as operações de preparação e injeção de poliuretano de portas, conforme a Tabela 40.

Nº da operação	Descrição da operação
39	Preparar Cabeceiras
40	Preparar Chapa pequena
41	Preparar Chapa grande
42	Preparar Painel pequeno
43	Preparar Painel grande
44	Injetar PU 2
45	Fixar perfil
46	Fixar interface
47	Fixar aparador

Tabela 40: Operações da Unidade de Montagem Modular de Portas.

Os dados de entrada para o algoritmo gerar as configurações de mix para as unidades de montagem modular de gabinetes e portas foram: demanda dos produtos (conforme Gráfico 3), capacidade de produção das linhas de montagem (Tabela 19), definição dos produtos-referência (Tabela 21) e restrições de processo (Tabela 18).

Os produtos-referência para as UMM de Gabinetes e Portas foram os mesmos utilizados para a linha de montagem propriamente

dita. As restrições de processo, como são relativas aos equipamentos de injeção de poliuretano, foram mantidas, diferente do que aconteceu para a utilização do algoritmo nas operações exclusivas de montagem.

Com isso, os indicadores obtidos na utilização do algoritmo para as unidades de montagem modular são mostradas na Tabela 41.

Indicador	UMM de Gabinetes	UMM de Portas
Número de sementes geradas	10	10
Número de configurações de mix geradas	595	549
Número de configurações oriundas de sementes	585	539
Número médio de configurações por semente	58	54
Tempo total de funcionamento do algoritmo	9:02:58	8:10:02
Percentual de melhoria no IUT [(melhor IUT / pior IUT) - 1]	64,5%	48,3%

Tabela 41: Indicadores de utilização do algoritmo para Abordagem 4 – Unidades de Montagem Modular.

A seguir serão apresentados o Gráfico 14 e o Gráfico 15, que mostram a evolução do Índice de Utilização do Tempo para as configurações de mix geradas, para cada uma das unidades de montagem modular.

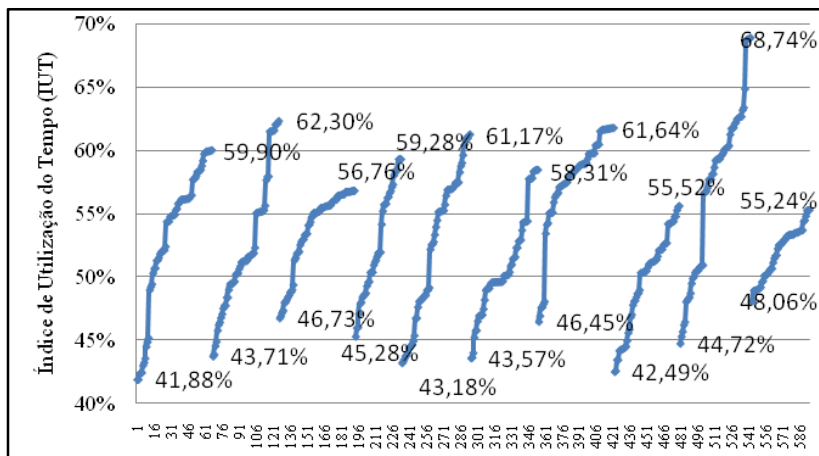


Gráfico 14: Melhoria do IUT para a Abordagem 4 – Unidade de Montagem Modular de Gabinetes.

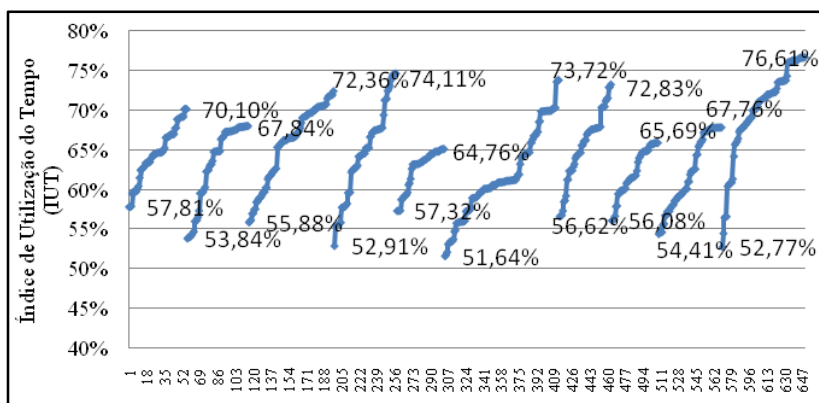


Gráfico 15: Melhoria do IUT para a Abordagem 4 – Unidade de Montagem Modular de Portas.

A partir dos resultados de IUT para as configurações de mix, fez-se a comparação entre as configurações que geraram os melhores indicadores, entre a Unidade de Montagem Modular de Gabinetes e a Unidade de Montagem Modular de Portas, conforme é mostrado na Tabela 42 e na Tabela 43.

Linha de Montagem	1	2	3	4	5	6
Quantidade de produtos	5	10	7	10	11	4
Configuração de mix	F P AA AQ AT	A D J N T V X AI AO AS	B K Q R AF AP AU	C E H M Y Z AJ AK AM AN	I L S U W AC AD AE AG AH AR	G O AB AL
Demanda dos Produtos	14,5%	9,9%	14,0%	15,6%	17,5%	19,8%
Capacidade da Linha	16,4%	14,1%	15,2%	16,4%	18,1%	19,9%
Índice de Utilização de Tempo	68,9%					

Tabela 42: Configurações que gerou o melhor IUT – Unidade de Montagem Modular de Gabinetes.

Para a UMM de Gabinetes, na melhor configuração gerada, as linhas 1, 3 e 6 ficaram mais dedicadas em relação às linhas 2, 4 e 5 (que ficaram compartilhadas entre 10 ou mais produtos em cada uma delas).

Linha de Montagem	1	2	3	4	5	6
Quantidade de produtos	6	14	5	11	7	4
Configuração de mix	F G O AA AQ AT	A I J L R U X AD AE AF AO AP AS AU	B K V AG AH	C D E H M P T Z AJ AM AN	N Q S Y AC AI AK	W AB AL AR
Demanda dos Produtos	15,3%	8,9%	15,1%	16,3%	16,5%	19,3%
Capacidade da Linha	16,4%	14,1%	15,2%	16,4%	18,1%	19,9%
Índice de Utilização de Tempo	76,6%					

Tabela 43: Configurações que gerou o melhor IUT – Unidade de Montagem Modular de Portas.

Pode-se perceber que alguns produtos foram alocados a mesma linha, tanto na melhor configuração para a UMM de Gabinetes quanto na melhor configuração para a UMM de Portas. É o caso de F, AA e AT na linha 1 (produto-referência AQ); J, X, AO e AS na linha 2 (produto-referência A); K na linha 3 (produto-referência B); C, E, H, M, AJ, AM e AN na linha 4 (produto-referência Z); AC na linha 5 (produto-referência S); e finalmente AB na linha 6 (produto-referência AL).

Para fazer as comparações, calcularam-se os níveis de semelhança relativos às operações executadas nas unidades de montagem modular, apresentados na Tabela 44. A classificação aqui apresentada é de proposta da autora. Ela propõe 4 níveis de semelhança, igualmente distribuídos entre a amplitude do indicador Diferença de Tempo entre Produtos entre todos os pares de produtos do problema, para cada unidade de montagem modular.

Para tanto, primeiramente se calculou a diferença de tempo entre todos os pares de produtos (1.128 pares de produtos para cada UMM), levando em consideração as operações executadas em cada unidade de

montagem modular. Então, calculou-se a variação deste indicador (Maior DT – Menor DT), para cada unidade de montagem modular. Após isso, foram criados 4 níveis de semelhança, igualmente espaçados entre a variação do indicador DT da UMM, sendo eles: alta semelhança, semelhança mediana, baixa semelhança e nenhuma semelhança. Como as operações e seus respectivos tempos são diferentes para cada UMM, então os valores numéricos de cada nível de semelhança também são diferentes para a UMM de Gabinetes e a UMM de Portas.

	Elevada semelhança	Semelhança mediana	Baixa semelhança	Nenhuma semelhança
UMM de Gabinetes	284	568	851	1135
UMM de Portas	118	237	355	473

Tabela 44: Níveis de semelhança para UMM de Gabinetes e UMM de Portas.

Apesar dos produtos anteriormente citados terem sido alocados para a mesma linha, tanto na UMM de Gabinetes quanto na UMM de Portas, não necessariamente eles apresentam o mesmo nível de semelhança em relação às operações de cada unidade de montagem modular. Para a UMM de Portas, todos os produtos tiveram nível de semelhança elevado ou mediano com o produto-referência da linha em questão, no entanto, para a UMM de Gabinetes, mesmo a configuração que gerou o melhor IUT resultou em agrupamento de produtos com baixa ou nenhuma semelhança com o produto-referência, conforme é mostrado na Tabela 45.

i-j	UMM de Gabinetes		UMM de Portas	
	DT _{i-j}	Nível de semelhança	DT _{i-j}	Nível de semelhança
AQ-F	198	Elevada semelhança	18	Elevada semelhança
AQ-AA	200	Elevada semelhança	19	Elevada semelhança
AQ-AT	0	Elevada semelhança	28	Elevada semelhança
A-J	39	Elevada semelhança	131	Semelhança mediana
A-X	85	Elevada semelhança	40	Elevada semelhança
A-AO	24	Elevada semelhança	81	Elevada semelhança
A-AS	39	Elevada semelhança	140	Semelhança mediana
B-K	4	Elevada semelhança	0	Elevada semelhança
Z-C	950	Nenhuma semelhança	160	Semelhança mediana
Z-E	759	Baixa semelhança	102	Elevada semelhança
Z-H	950	Nenhuma semelhança	160	Semelhança mediana
Z-M	948	Nenhuma semelhança	154	Semelhança mediana
Z-AJ	950	Nenhuma semelhança	160	Semelhança mediana
Z-AM	1.006	Nenhuma semelhança	150	Semelhança mediana

i-j	UMM de Gabinetes		UMM de Portas	
	DT _{i-j}	Nível de semelhança	DT _{i-j}	Nível de semelhança
Z-AN	1.002	Nenhuma semelhança	148	Semelhança mediana
AC-S	3	Elevada semelhança	12	Elevada semelhança
AL-AB	93	Elevada semelhança	2	Elevada semelhança

Tabela 45: Diferença de Tempo entre produtos para a UMM de Gabinetes e UMM de Portas.

Isso mostra que um agrupamento de produtos interessante para as operações de preparação e injeção de PU de gabinetes pode ser diferente de um agrupamento interessante sob o ponto de vista das operações relacionadas à montagem e injeção de PU de portas. Por exemplo, os produtos Z e E apresentam elevada semelhança na UMM de Portas, ou seja, são produtos cujas operações para montagem de suas portas são parecidas e portanto, podem ser montados conjuntamente no mesmo sistema de montagem de portas. No entanto, esse mesmo par de produtos apresenta baixa semelhança em relação às operações de montagem do gabinete, ou seja, na UMM de Gabinetes, Z e E preferencialmente não devem ser montados juntos. Desta forma, a abordagem da produção modular permite que se obtenham configurações de mix mais adequadas a cada unidade de montagem modular.

4.4 RESULTADOS

Dentre as 4 diferentes abordagens de organização do sistema produtivo, foram analisadas 1.266 configurações de mix para as linhas de montagem e, adicionalmente, 1.124 configurações para as Unidades de Montagem Modular (apenas no caso da abordagem 4). Os resultados para o Índice de Utilização do Tempo foram bastante diferentes, sendo o pior IUT de 46,6% – relativo à abordagem da Produção Modular – e o melhor IUT de 77,8% – relativo à abordagem de Produtos-referência de maior demanda.

Os indicadores de utilização do algoritmo, para as diversas abordagens, estão descritos na Tabela 46.

Abordagens Indicadores	Produtos- referência de alta demanda	Faixas de tempo referência	Produção Focada	Produção Modular
Número de sementes geradas	7	5	2	9
Número de configurações de mix geradas	440	305	7	555
Número de configurações oriundas de sementes	433	300	5	546
Número médio de configurações por semente	62	60	2,5	63
Tempo total de funcionamento do algoritmo	08:25:38	08:57:21	08:33:50	08:35:34
Percentual de melhoria no IUT [(melhor IUT / pior IUT) – 1]	55,3%	40,8%	7,90%	57,20%
Melhor IUT alcançado	77,8%	70,7%	72,0%	73,4%*

* valores médios para a utilização do algoritmo para a Linha de Montagem propriamente dita, UMM de Gabinetes e UMM de Portas. O valor do IUT foi calculado pela média ponderada dos IUTs obtidos, em relação a proporção de atividades executadas em cada etapa¹³.

Tabela 46: Indicadores de utilização do algoritmo para as 4 abordagens.

Ao longo do estudo, foi controlado o tempo de utilização do algoritmo para as 4 abordagens, com o objetivo de deixar o algoritmo processando por um período de tempo semelhante para cada caso e facilitar a comparação entre os resultados obtidos por cada abordagem. Através dos gráficos de melhoria do IUT para cada abordagem (Gráfico 6, Gráfico 9, Gráfico 11, Gráfico 13, Gráfico 14 e Gráfico 15), nota-se que não houve um padrão de tempo até o encontro da melhor solução. Ou seja, para cada caso a melhor solução encontrada ocorreu em determinado estágio do procedimento algorítmico: melhor solução no início do procedimento (Gráfico 9 e Gráfico 13); melhor solução no meio do procedimento (Gráfico 6); e melhor solução no final do

$$^{13} IUT_{Abordagem\ 4} = \left(IUT_{LM} * \frac{n_{LM}}{n_T} \right) + \left(IUT_{Gab} * \frac{n_{Gab}}{n_T} \right) + \left(IUT_{Por} * \frac{n_{Por}}{n_T} \right) \text{ onde:}$$

IUT_{LM} = Índice de Utilização de Tempo para a Linha de Montagem;

IUT_{Gab} = Índice de Utilização de Tempo para a UMM de Gabinetes;

IUT_{Por} = Índice de Utilização de Tempo para a UMM de Portas;

n_{LM} = número de operações executadas na Linha de Montagem propriamente dita;

n_{Gab} = número de operações executadas na UMM de Gabinetes;

n_{Por} = número de operações executadas na UMM de Portas;

n_T = número total de operações.

procedimento (Gráfico 11, Gráfico 14, Gráfico 15). Esta constatação sugere que o algoritmo não tem um padrão de tempo para encontrar boas soluções, fato este que é explicado pela aleatoriedade das sementes geradas.

A configuração de mix mais interessante sob o ponto de vista de utilização do tempo foi obtida através da abordagem de Produtos-referência de maior demanda.

Em relação à aplicabilidade desta configuração de mix sugerida pela abordagem de Produtos-referência de maior demanda, pode-se considerar de fácil execução. Obviamente, se deve detalhar a análise de capacidade dos equipamentos das linhas de montagem e adequações necessárias para receber a configuração de mix proposta, no entanto, como não exige grandes alterações de *layout* no sistema produtivo já existente na empresa, se pressupõe que as alterações são pequenas relativas ao aumento do aproveitamento do tempo que, para o caso de sistemas produtivos com mão-de-obra intensiva, reflete-se em aumento da produtividade da mão-de-obra.

O segundo melhor IUT foi obtido por uma configuração de mix oriunda da abordagem da Produção Modular. Embora, em relação ao estudo de caso apresentado, na prática esta abordagem seja de difícil execução, pois exige movimentação física de grandes equipamentos (injetoras de PU de gabinetes e Portas) e investimento em um novo conceito de linhas de montagem e unidades de montagem modular, mostrou-se como sendo uma estratégia bastante interessante sob o ponto de vista de utilização do tempo. No entanto, é uma solução especialmente interessante para o projeto de novos sistemas produtivos. Adicionalmente, o desenho de um sistema produtivo de montagem de refrigeradores e *freezers* através da abordagem da Produção Modular gera outros benefícios não avaliados pelo algoritmo, como, por exemplo, a separação de operações com características de produção de grandes lotes e tempos de *setup* alto (injetoras de poliuretano) das operações estritamente de montagem, que exibem elevada flexibilidade em relação à troca de modelos e lotes unitários.

A abordagem da Produção Focada deu origem ao terceiro melhor IUT. Devido à alocação de um grande número de produtos a uma única linha, o número de configurações de mix possíveis para esta abordagem reduz drasticamente em relação as demais e, por conseqüência, também se reduzem as possibilidades de se encontrar configurações de mix que gerem melhores resultados para o Índice de Utilização de Tempo. Esta conclusão pode ser evidenciada pelos indicadores de utilização do algoritmo. Para um tempo de processamento semelhante ao utilizado

para as demais abordagens, o algoritmo com os dados da Produção Focada gerou apenas 7 configurações de mix diferentes. Além desta abordagem ter gerado um bom Índice de Utilização de Tempo, conceitualmente é bastante interessante também sob o ponto de vista da administração do sistema produtivo. Sugere-se que os recursos de engenharia de processos, o treinamento dos operadores, etc. sejam direcionados para trabalhar arduamente nas linhas de montagem focadas (com poucos produtos), com o objetivo de fazer melhorias no processo continuamente e ter métodos de trabalho rigorosamente definidos e seguidos, para que estas linhas sejam realmente muito produtivas. Já para as linhas de montagens super-compartilhadas (com muitos produtos) a tratativa deve ser diferenciada. O treinamento dos operadores pode ser menos específico e mais abrangente (pois estes irão montar muitos produtos diferentes) e o método de trabalho não precisa ser cobrado com tanto rigor. Ou seja, essa abordagem propõe o foco nos sistemas de produção focados e concentra as perdas nos sistemas de produção super-compartilhados.

A abordagem que resultou no pior Índice de Utilização de Tempo, dentre as 4 abordagens, foi a das Faixas de tempo-referência. Coincidentemente, o atributo que definiu os produtos-referência desta abordagem – o tempo total de operação – é uma variável empiricamente utilizada para alocar grupos de produtos para linhas de montagem nas indústrias.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste estudo foi desenvolvida uma heurística para configuração de linhas de montagem mixadas com mão-de-obra intensiva. Como pré-requisitos fundamentais para gerar configurações aplicáveis estão: demanda dos produtos, capacidade produtiva das linhas de montagem, restrições físicas e de processo e a possibilidade de pré-alocação de alguns produtos. Este último, embora não seja mandatório, foi considerado de elevada importância para a estruturação da heurística pois, na realidade empresarial, ocorrem muitos casos onde o produto não deveria ser alocado a determinada linha de montagem porque sabidamente gera ineficiências porém obrigatoriamente será, devido a decisões estratégicas da empresa.

Adicionalmente, foi proposta a análise comparativa de 4 modelos conceituais de organização e administração dos sistemas de montagem. Através do algoritmo desenvolvido, pode-se fazer a comparação das configurações de mix possíveis para cada abordagem, permitindo assim analisar o desempenho de cada modelo de organização e administração das linhas de montagem.

O estudo de caso realizado numa empresa montadora de eletrodomésticos validou a aplicabilidade da heurística proposta. Para um problema real, com 47 produtos compostos por 80 operações de montagem e 6 linhas de montagem disponíveis, foram geradas 1.266 configurações de mix possíveis, todas elas atendendo às restrições de capacidade produtiva e de processos.

Para o caso estudado, a abordagem que se mostrou mais interessante, sob o ponto de vista de utilização do tempo, foi a de Produtos-referência de maior demanda. No entanto, ao se verificar a configuração de mix que gerou o melhor IUT para esta abordagem, nota-se que ela ficou bastante semelhante conceitualmente à proposta da abordagem da Produção Focada, concentrando em uma única linha de montagem um grande grupo de produtos – 19 produtos alocados a linha 5 – e deixando grupos menores de produtos para as demais linhas. Isso sugere que, para o caso estudado, o modelo conceitual da Produção Focada sobressai-se dos demais, uma vez que o algoritmo aproximou a abordagem de Produtos-referência de maior demanda ao formato da Produção Focada e, com esse direcionamento, obteve o melhor indicador de utilização do tempo.

Na abordagem da Produção Focada propriamente dita, para o problema estudado, foi feita a pré-alocação de um percentual muito grande de produtos (78,7% ou 37 produtos), restando assim poucas possibilidades de configuração de mix a serem testadas, por isso esta abordagem teve um percentual de melhoria do indicador IUT baixo.

O segundo melhor IUT foi obtido por uma configuração de mix oriunda da abordagem da Produção Modular. Uma importante conclusão da aplicação da Produção Modular ao caso estudado é que, diferentemente do que se imaginava, essa abordagem não garante a redução da variabilidade para a Linha de Montagem propriamente dita. Nota-se que o melhor IUT da LM para esta abordagem não foi superior ao melhor IUT das outras abordagens, mostrando que grande parte da variação de tempo de operações entre os produtos estão em atividades não relacionadas com a preparação e injeção de PU Gabinetes e Portas (estão nas operações da própria linha de montagem). Por conta disso, retirar essas operações do sistema de montagem não reduz significativamente a variação.

Na prática industrial, muitas vezes o atributo tempo total de operação é um dos parâmetros para se definir grupos de produtos a serem montados conjuntamente. Aqui neste trabalho, essa experiência prática foi traduzida na abordagem de Faixas de tempo-referência. Quando se propôs esta abordagem, se pressupôs que, ao definirem-se produtos-referência em relação ao tempo total de operação, se agruparia a cada um deles, os demais produtos com tempos total de operação semelhantes ao do produto-referência em questão. Como os tempos dos produtos-referência estão quase igualmente espaçados, então se formariam grupos com tempo total de operações próximos a cada produto-referência. No entanto, isso não aconteceu. Inclusive esta abordagem resultou no pior Índice de Utilização de Tempo dentre as 4 abordagens. Além das questões de capacidade produtiva e restrições de processo que inviabilizam a alocação de determinado produto juntamente com o produto-referência mais parecido consigo em relação ao tempo total de operação, o algoritmo leva em conta a variação de tempo em relação a cada operação (e não em relação ao tempo total de operação). Ou seja, pode acontecer de um determinado produto ser semelhante ao produto-referência i em relação ao tempo total de operação, porém não o ser em relação à diferença de tempo entre produtos, fazendo com que o algoritmo o aloque com o produto-referência j . Portanto, essa abordagem não se mostrou interessante em relação à utilização do tempo, quebrando um paradigma da prática industrial.

Outra importante conclusão para o caso estudado foi a verificação que as melhores soluções não agruparam os produtos em relação ao tamanho da plataforma, como a empresa em questão tradicionalmente o faz. Nas configurações que geraram os melhores índices de utilização do tempo, o agrupamento foi fortemente direcionado pelo sistema de refrigeração dos produtos. Algumas linhas de montagem ficaram dedicadas a refrigeradores com descongelamento automático, outras linhas dedicadas a refrigeradores com descongelamento manual e alguns grupos de *freezers* também permaneceram concentrados. Apesar dessa característica nunca ter sido fortemente analisada na empresa em questão, ela realmente faz muito sentido em relação às operações de montagem, pois a parte funcional dos produtos difere bastante de acordo com o sistema de refrigeração e a montagem da parte funcional requer um número grande de operações da linha de montagem.

Para exemplificar esta constatação, será detalhada a configuração que gerou o melhor IUT de todas (Abordagem de Produtos-referência de maior demanda). Nessa configuração, os produtos F, AA, AQ e AT, todos com sistema de refrigeração de descongelamento manual, ficaram agrupados na linha 1. As linhas 2 e 3 ficaram dedicadas a produtos de descongelamento automático. A linha 4 ficou com 10 produtos, sendo 9 deles de descongelamento manual e 1 *freezer*. Na linha 5 foram agrupados 19 produtos, sendo que 57,9% (11 produtos) são de descongelamento manual, 26,3% (5 produtos) são de descongelamento automático e 15,8% (3 produtos) são *freezers*. Finalmente na linha 6 ficaram os produtos AB e AL, ambos de descongelamento automático. Em relação ao tamanho da plataforma (produtos pequenos, produtos médios e produtos grandes), em todas as linhas houve a mistura de produtos com tamanho de plataforma diferentes, exceto na linha 6, em que os 2 refrigeradores tratam-se de produtos médios. Também para as demais abordagens, nas melhores configurações, nota-se a mesma tendência de agrupamento. Desta forma, a aplicação do algoritmo mostra que, para o caso estudado, o agrupamento deve ser direcionado pelo tipo de sistema de refrigeração dos produtos, quebrando o paradigma de agrupamento por tamanho de plataforma, tradicionalmente utilizado.

No estudo de caso, comparando o melhor IUT com o pior IUT obtido, em relação a todas as abordagens e todas as configurações de mix, verifica-se um percentual de melhoria do indicador de 66,9% (pior IUT= 46,6% ocorrido na Abordagem 4 – Operações de Montagem e melhor IUT= 77,8%, ocorrido na Abordagem 1). Isso evidencia que, apesar das restrições de capacidade produtiva e das restrições de

processo, existem muitas configurações possíveis de serem aplicadas a diferentes formas de organização e administração do sistema produtivo. Ou seja, um procedimento quantitativo no momento de definir o mix para cada linha de montagem é fundamental para a competitividade da empresa.

Dentre as contribuições gerais desse trabalho, não somente em relação ao estudo de caso, mas em relação a todos os problemas de alocação de mix para linhas de montagem mixadas, sobressai-se a criação do Índice de Utilização de Tempo, que é a base da heurística aqui proposta. A definição desse indicador leva em consideração o conceito de gargalo para qualquer mix de produtos e qualquer sequência de produção. Ou seja, o tempo disponível para a execução das operações é determinado pelo produto que requer mais tempo, em cada operação, a fim de se evitar atrasos que se propaguem na linha e não possam ser recuperados. Essa estratégia foi tomada a fim de evitar a necessidade de sequenciamento e superprodução (produção adicional de produtos não demandados apenas para manutenção da sequência ótima). Ou seja, quanto maior o IUT, para os sistemas com mão-de-obra intensiva, maior será a oportunidade de melhoria na produtividade dos operadores. Adicionalmente, também foram apresentados os indicadores de Tempo Total de Operação e Diferença de Tempo entre Produtos, que são de grande importância para a compreensão do problema na sua totalidade e direcionam a tomada de decisões em diferentes esferas.

Na prática industrial, muitas empresas definem o agrupamento das linhas de montagem com base na tradição. Normalmente, são avaliadas apenas características macro dos produtos e, em geral, levadas em consideração apenas as restrições de capacidade produtiva e restrições físicas ou processuais. A heurística apresentada evidencia que, mesmo que se analise as restrições de capacidade e processo, para um problema com mais de 40 produtos e 6 linhas de montagem – como o que foi apresentado no estudo de caso – existem muitas possibilidades de mix para cada linha de montagem. Para essa dimensão de problemas, sob o ponto de vista de utilização do tempo (que pode refletir-se em produtividade da mão-de-obra) uma configuração aleatória qualquer pode ser muito pior que uma configuração melhorada com base no IUT.

Outra grande contribuição da heurística proposta é que ela possibilita que a manufatura avalie e reconfigure o mix de produção, para garantir que os sistemas de montagem sejam tão produtivos quanto possível qualquer que seja a variação da demanda.

Em termos gerais, a presente heurística para configuração de mix em linhas de montagem mixadas com mão-de-obra intensiva e suas

abordagens de sistema de manufatura apresenta subsídios para análise e decisões industriais, podendo direcionar a reestruturação dos sistemas de montagem ou, quando essa alternativa não se faz viável, a realocação de produtos nas linhas de montagem atuais, a fim de melhorar a utilização do tempo da mão-de-obra. As análises também podem ser utilizadas como subsídio para a construção de novos sistemas de montagem, através da comparação de cenários (por exemplo, diferentes números de linhas de montagem) e os respectivos IUTs, de modo que se possa avaliar quantas linhas de montagem seriam adequadas à variedade de produtos demandados pelo mercado.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Baseado no presente estudo, os seguintes temas são sugeridos, visando dar continuidade aos estudos aqui apresentados:

- Adicionar o problema de balanceamento dos postos de trabalho, a fim de se obter como dado de saída a quantidade total de postos de trabalho para o mix definido;
- Estudo da relação entre o Índice de Utilização do Tempo e a produtividade da mão-de-obra nas suas formas tradicionais de medição (peças / homem-hora);
- Revisão e aprofundamento do algoritmo aqui utilizado, pois não se gastou demasiado tempo no seu procedimento de otimização. Como sugestão, o aprofundamento poderia ser um algoritmo genético;
- Estudo da influência da variedade de peças para: (1) o operador que trabalha em ciclos curtos e a relação com os erros / defeitos de montagem (peças do produto A montadas no produto B) e (2) para o sistema de logística interna, pois esses dois fatores podem ser limitadores do número de produtos produzidos simultaneamente em linhas de montagem mixadas.
- Prosseguir com as análises de capacidade produtiva, especialmente para a abordagem da produção focada, levando em consideração os tempos de *setup*, para os casos de sistemas de montagem que contenham equipamentos que necessitem de troca de modelos;
- Transformar a capacidade em variável dinâmica, para possibilitar que a capacidade da linha seja variável, de acordo com o mix a ela alocado.

REFERÊNCIAS

ASKIN, Ronald G.; STANDRIDGE, Charles R. **Modeling and analysis of manufacturing systems**. New York : J. Willey, 1993.

Associação MTM do Brasil. **Apostila MTM-UAS**. 2008.

BAINES A. **Work measurement - the basic principles revisited**. Work Study, 1995 - Vol. 44.

BARAJAS, Marco; AGARD, Bruno. **A Methodology to Form Product Families through Fuzzy Product Configuration**. Montreal : Centre interuniversitaire de recherche sur les réseaux d'entreprise, la logistique et le transport, 2009.

BECKER, Christian; SCHOOL, Armin. **A survey on problems and methods in generalized assembly lines balancing**. Wirtschaftswissenschaftliche Fakultät . - Friedrich-Schiller-Universität Jena, 2003. - Abril 14, 2010. - <http://www.wiwi.uni-jena.de/Papers/wp-sw2103.pdf>.

BETANCOURT, Liliana Capacho. **ASALBP: the Alternative Subgraphs Assembly Line Balancing Problm. Formalization and Resolution Procedures**. Technical University of Catalonia - Institute of Industrial and Control Engineering. Doctoral Program: Advanced Automation and Robotics. - 2007.

BOCK, Stefan. **A New Mixed-model Assembly Line Planning Approach for an Efficient Variety Steering Integration**. International Series in Operations Research & Management Science. - [s.l.] : Springer US, 2006. - Vol. 87.

BURBIDGE, J. L. **Production flow analysis for planning group technology**. Clarendo Press, 1989.

CHOW, We-Min. **Assembly Line Design: Methodoly and Applications**. New York : Marcel Dekker, Inc., 1990.

CORRAR, Luiz J.; PAULO, Edilson; DIAS, José Maria Filho. **Análise Multivariada para os Cursos de Administração, Ciências Contábeis e Economia**. São Paulo : Editora Atlas S.A., 2007.

CORRÊA, Henrique; GIANESI, Irineu. **Just in Time, MRP II e OPT**. São Paulo : Atlas, 1996. - 2a.

DAVIS, Mark M.; AQUILANO, Nicholas J.; CHASE, Richard B. **Fundamentos da Administração da Produção**. Porto Alegre : Artmed Editora, 1999.

DE LIT, Pierre; DELCHAMBRE, Alain. **Integrated design of a product family and its assembly system**. Kluwer Academic Publishers, 2003.

DETTMER, William H. **Goldratt's Theory of Constraints: A Systems Approach to Continuous Improvement**. 1997.

DONI, Marcelo Viana. **Análise de Clusters: métodos hierárquicos e de particionamento** // Trabalho apresentado à disciplina de Trabalho de Graduação Interdisciplinar II do curso de Sistema de Informação pela Faculdade de Computação e Informática da Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo, 2004.

DUARTE, Roberto N. **Simulação Computacional: análise de uma célula de manufatura em lotes do setor de auto-peças** // Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2003.

FATTAHI, Parviz; SALEHI, Mohsen. **Sequencing the mixed-model assembly line to minimize the total utility and idle costs with variable launching interval**. International Journal of Advanced Manufacture Technology. London : Springer-Verlag, 2009. Vol. 45.

FERREIRA, João Carlos. **Sistemas Integrados de Manufatura** // Material Didático. Florianópolis, 2009.

GALAN, R. [et al.] **A systematic approach for product families formation in Reconfigurable Manufacturing Systems**. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. 2007 - pp. 489-502.

GOLDRATT, Eliyahu M.; COX, Jeff. **A meta: um processo de melhoria contínua**. São Paulo : Nobel, 2002.

GUERREIRO, Reinaldo. **A meta da empresa**. São Paulo : Atlas, 1999.

HADI, Gokcen; ERDAL, Erel. **A goal programming approachh to mixed-model assembly line balancing problem**. International Journal of Production Economics. Elsevier Science B.V., 1997. - Vol. 48.

HAIR, Joseph F. [et al.] **Análise Multivariada de Dados**. Porto Alegre : Bookman, 2005.

- HU, S. J. [et al.] **Product variety and manufacturing complexity in assembly systems and supply chains**. CIRP Annals - Manufacturing Technology. Elsevier, 2008 - Vol. 57.
- HYER, N. L.; WEMMERLÖV, U. **Reorganizing the Factory - Competing Through Cellular Manufacturing**. Productivity Press, 2002.
- HYER N. L.; BROWN, K. A. **The discipline of real cells [Article] // Journal of Operations Management**. 1999 - Vol. 17.
- HYER, N. L.; BROWN, K. A.; ZIMMERMAN, S. **A socio-technical systems approach to cell design: case study and analysis**. Journal of Operations Management. Elsevier Science, 1999. Vol. 17.
- KUSIAK, Andrew. **The generalized group technology concept**. International Journal of Production Research. Basingstoke : Taylor & Francis, 1987. - 4 : Vol. 25.
- LAFRAIA, J. B.; KARDEC, A. **Gestão estratégica e confiabilidade**. Rio de Janeiro : Qualitymark, 2002.
- LOPES, Marcelo de Carvalho. **Modelo para Focalização da Produção com Células de Manufatura**. Florianópolis, 1998.
- LUCERTINI, M.; PACCIARELLI, D.; PACIFICI, A. **Modeling an assembly line for configuration and flow management**. Computer Integrated Manufacturing Systems. Elsevier Science Ltd., 1998 - Vol. 11.
- MICHALEK, J. J.; FEINBERG, F. M.; PAPALAMBROS, P. Y. **Linking Marketing and Engineering Product Design Decisions via Analytical Target Cascading**. Journal of Product Innovation Management. 2005 - Vol. 22.
- MONDEN, Yasuhiro. **Toyota Production System**. Norcross : Institute of Industrial Engineers, 1983.
- NASCIMENTO, Anderson; MUNIZ, Jorge. **Redução de custos por meio de departamentalização por família de produtos**. Pesquisa Ação Numa Linha de Transformadores. Simpósio de Excelência de Gestão e Tecnologia. 2007.
- PETERS, Marc; DEGRAEVE, Zeger. **An linear programming based lower bound for the simple assembly line balancing problem**. European Journal of Operational Research. Elsevier , 2006 - Vol. 168.

- RAMPERSAD, H. K. **Integrated and Simultaneous Design for Robotic Assembly**. Jonh Wiley & Sons, 1994.
- REKIEK, Brahim [et al.]. **A multiple objective grouping genetic algorithm for assembly line design**. Journal of Intelligent Manufacturing. Kluwer Academic Publishers, 2001 - Vol. 12.
- REKIEK, Brahim [et al.]. **State of Art of Optimization Methods for Assembly Line Design**. Annual Reviews in Control. Elsevier Science Ltd., 2002 - Vol. 26.
- REKIEK, Brahim; DELCHAMBRE, Alain. **Assembly line design: the balancing of mixed-model hybrid assembly lines with genetic algorithms**. London : Springer, 2006.
- RODRIGUES, Elder de Oliveira. **Metodologia para formação de parceria em Cadeia de Suprimentos: enfoque por similaridade entre atividades**. Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia Mecânica - Comissão de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Campinas : Biblioteca Digital da Unicamp, 2005.
- SCHOLL, Armin; BOYSEN, Nils; FLIEDNER, Malte. **The sequence-dependent assembly line balancing problem**. Springer-Verlag, 2006.
- SELIM, Hassan M.; ASKIN, Ronald G.; VAKHARIA, Asoo J. **Cell Formation in Group Technology: review, evaluation and direction for future research**. Computers ind. Engineering. 1998 - pp. 3-20.
- SHIMOKAWA, Koichi. **From the Ford system to the just-in-time production system: a historical study of international shifts in automobile production systems, their connection, and their transformation**. Japanese Yearbook on Business History - 1993.
- SIANESI, Andrea. **An analysis of the impact of plant and management variables in a multi-stage, mixed-model production system**. International Journal of Production Economics. Elsevier, 1998 - Vols. 56-57.
- SIEGEL, Irving Herbert. **Company Productivity: Measurement for Improvement**. Michigan : Institut for Employment Research, Kolamazoo, 1980.
- SINK, Scott; TUTTLE, Thomas C. **Planejamento e Medição para a Performance**. Rio de Janeiro : Qualitymark, 1993.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert.
Administração da Produção. São Paulo : Editora Atlas S.A., 2002.

SRINIVASAN, T. T.; NARENDRAN; MAHADEVAN B. **An assignment model for the part-families problem in group technology**. International Journal of Production Research. Basingstoke : Taylor & Francis, 1990 - Vol. 28.

SURI, Rajan. **Quick Response Manufacturing - A Companywide Approach to Reducing Lead Times**. Portland : Productivity Press, 1998.

WIKIPÉDIA. **Linha de Montagem**. Wikipédia: A enciclopédia livre. - Janeiro 2010, 13. -
http://pt.wikipedia.org/wiki/Linha_de_montagem#refTeixeira2008.

YASUDA, K.; YIN, Y. **Dissimilarity measur for solvint the cell formation problem in cellular manufacturing**. Computers & Industrial Engineering. Elsevier, 2001 - Vol. 39.

MATRIZ DE DIFERENÇA DE TEMPO ENTRE PRODUTOS PARTE II (80 OPERAÇÕES)

	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU
A	3336	3014	3070	2359	2762	2280	2476	238	2476	1980	3317	3192	3151	2378	3212	3208	146	305	2849	3037	230	2887	240
B	2633	1851	2019	1540	1841	505	1583	1869	1583	31	2306	2673	2624	1509	2465	2453	1993	2056	2032	1986	2043	2008	2045
C	372	2120	2198	2167	1356	2508	2574	3102	2574	2576	1341	86	137	2312	566	610	3182	3271	2007	2257	3282	1965	3246
D	159	2161	2239	2212	1341	2453	2641	3171	2641	2539	968	523	592	2357	161	131	3249	3340	2060	2298	3349	2034	3331
E	1497	1513	1325	1576	1907	2219	2011	2743	2011	2325	1792	1247	1172	1817	1345	1339	2853	2948	1022	1362	2955	976	2975
F	2316	274	4	1447	1766	1824	1136	2942	1136	2030	2019	2194	2119	1610	2140	2132	3042	3133	639	137	3142	751	3150
G	2254	1064	1196	613	1732	1654	1720	2512	1720	1638	1997	2192	2127	750	2152	2142	2636	2675	1123	1257	2704	1115	2706
H	377	2105	2183	2206	1351	2575	2559	3101	2559	2643	1414	15	128	2345	639	623	3181	3266	1996	2242	3281	1954	3245
I	2584	1712	1854	1679	1734	44	1456	2138	1456	492	2227	2632	2585	1558	2402	2390	2262	2375	1907	1873	2350	1893	2352
J	3329	3039	3095	2376	2761	2339	2509	267	2509	2001	3322	3187	3142	2411	3235	3223	283	250	2862	3062	203	2888	199
K	2620	1862	2030	1551	1828	506	1600	1866	1600	18	2299	2660	2611	1520	2464	2452	1998	2055	2051	1997	2048	2027	2038
L	2607	1467	1553	1466	1605	355	1289	2219	1289	811	2244	2521	2474	1505	2425	2413	2343	2464	1666	1572	2431	1644	2433
M	455	2035	2113	2142	1243	2531	2507	3053	2507	2597	1358	137	10	2287	617	641	3135	3222	1932	2172	3235	1890	3195
N	8	2250	2328	2299	1260	2548	2730	3250	2730	2624	1063	368	473	2444	288	276	3332	3421	2131	2387	3432	2089	3392
O	2173	93	223	1416	1625	1701	1321	2973	1321	1935	1878	2051	1976	1451	2005	2001	3073	3148	838	356	3157	916	3165
P	2236	544	276	1431	1706	1862	1156	2740	1156	2046	1967	2108	2051	1602	2116	2100	2840	2931	369	393	2940	483	2948
Q	3026	2646	2722	2043	2462	2004	2146	278	2146	1724	3005	2876	2837	2094	2898	2886	370	435	2503	2689	462	2549	512
R	3375	3027	3081	2346	2803	2279	2515	147	2515	1979	3348	3231	3192	2403	3259	3245	143	244	2854	3048	233	2838	295
S	1163	1639	1807	1960	105	1725	1899	2711	1899	1847	1468	1249	1324	2091	1377	1365	2797	2882	1686	1846	2899	1658	2853
T	13	2237	2315	2286	1247	2535	2717	3239	2717	2611	1050	377	468	2431	283	263	3321	3410	2120	2374	3421	2078	3381
U	2504	1366	1274	1561	1906	1654	226	2240	226	1762	2407	2356	2299	1566	2324	2318	2318	2375	1543	1275	2408	1665	2414
V	2629	1855	2025	1548	1823	523	1587	1863	1587	25	2302	2669	2620	1517	2471	2449	1987	2050	2042	1992	2037	2018	2039
W	2382	274	144	1525	1810	1872	1122	2934	1122	2026	2073	2260	2185	1692	2194	2188	3034	3125	685	31	3134	797	3142
X	3410	3074	3130	2397	2846	2340	2536	296	2536	2002	3387	3266	3225	2430	3286	3282	160	247	2909	3097	198	2947	226

MATRIZ DE DIFERENÇA DE TEMPO ENTRE PRODUTOS CONSIDERANDO SOMENTE AS OPERAÇÕES DE MONTAGEM (SEM ATIVIDADES DE PREPARAÇÃO E INJEÇÃO DE PU) PARTE II

	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	NA	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU
A	2094	1837	1820	1569	1908	1460	1494	143	1494	1341	1867	2027	1978	1529	1963	1963	41	176	1704	1785	51	1714	111
B	1444	1123	1222	1013	1382	312	1054	1265	1054	15	1149	86	1454	913	1269	1261	1329	1298	1308	1187	1315	1256	1287
C	81	1010	1109	1366	217	1211	1355	2002	1355	1420	478	215	121	1416	260	302	2028	2017	1003	1146	2070	947	1992
D	140	1011	1110	1359	354	1138	1350	1991	1350	1349	399	976	276	1409	155	131	2015	2006	1006	1147	2057	966	1997
E	1039	652	485	874	911	985	883	1660	883	1186	944	1108	895	1050	892	884	1722	1711	273	500	1766	203	1738
F	1171	204	1	872	1003	1033	517	1746	517	1228	948	1135	1031	1030	1008	1006	1786	1783	423	38	1836	515	1800
G	1132	693	850	341	1036	944	1084	1581	1084	1039	935	15	1064	417	1037	1033	1645	1632	806	821	1649	812	1621
H	86	995	1094	1405	212	1278	1340	2001	1340	1487	551	1335	112	1449	333	315	2027	2012	992	1131	2069	936	1991
I	1264	987	1060	1029	1204	44	1046	1369	1046	283	977	1974	1276	961	1083	1075	1433	1452	1142	1077	1457	1100	1429
J	2041	1800	1783	1530	1853	1457	1465	154	1465	1300	1818	1506	1923	1500	1940	1930	218	119	1655	1748	182	1653	158
K	1435	1130	1229	1028	1373	309	1067	1266	1067	6	1146	1229	1445	928	1272	1264	1338	1301	1323	1194	1324	1271	1284
L	1292	747	764	821	1080	338	896	1457	896	585	999	111	1170	913	1111	1103	1521	1548	906	781	1545	856	1517
M	168	933	1032	1345	108	1232	1286	1957	1286	1439	497	77	0	1395	315	335	1983	1972	930	1069	2025	874	1945
N	8	1081	1180	1433	268	1228	1426	2075	1426	1437	489	985	176	1483	273	257	2101	2092	1068	1217	2143	1012	2063
O	1048	43	194	859	880	932	686	1797	686	1151	827	1042	908	895	893	895	1837	1818	598	231	1871	656	1835
P	1111	370	167	886	939	1093	625	1624	625	1292	916	1812	979	1052	1004	994	1664	1661	259	202	1714	353	1678
Q	1885	1554	1557	1344	1697	1269	1249	242	1249	1170	1650	2019	1765	1330	1750	1742	268	245	1443	1522	298	1461	322
R	2086	1791	1772	1503	1902	1400	1474	27	1474	1281	1851	2019	1972	1495	1963	1953	81	196	1650	1737	129	1648	157
S	186	959	1058	1369	90	1192	1242	1925	1242	1401	565	125	194	1413	399	393	1951	1942	952	1095	1993	896	1913
T	9	1072	1171	1424	259	1219	1417	2068	1417	1428	480	82	167	1474	264	248	2094	2085	1061	1208	2136	1005	2056
U	1412	645	502	981	1190	1070	14	1455	14	1055	1157	1349	1280	1059	1241	1239	1473	1436	806	485	1503	900	1475
V	1438	1125	1224	1019	1376	318	1056	1271	1056	21	1143	1509	1448	919	1273	1255	1335	1304	1314	1189	1321	1262	1293
W	1210	197	46	857	1042	1074	480	1731	480	1217	975	1147	1070	1019	1035	1035	1771	1768	460	29	1821	552	1785
X	2123	1834	1817	1550	1937	1457	1491	150	1491	1300	1892	2056	2007	1518	1992	1992	58	123	1701	1782	22	1711	102

MATRIZ DE DIFERENÇA DE TEMPO ENTRE PRODUTOS CONSIDERANDO SOMENTE AS OPERAÇÕES DA UMM DE GABINETES PARTE II

	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	NA	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU
A	983	805	876	523	560	533	691	42	691	362	1078	907	911	580	991	987	24	39	790	878	39	790	39
B	888	554	621	278	353	192	468	359	468	5	983	858	866	349	896	892	377	380	567	623	382	567	380
C	284	950	927	696	837	998	964	891	964	853	731	0	8	789	292	296	897	912	851	949	910	851	912
D	12	1002	979	748	685	1016	1036	971	1036	887	443	296	304	841	4	0	977	992	911	1001	990	911	992
E	401	759	736	637	744	983	921	856	921	884	738	209	217	700	401	405	862	877	654	758	875	654	877
F	989	69	2	427	608	617	489	866	489	624	1042	925	933	430	981	977	884	887	198	98	889	198	887
G	915	297	274	155	538	521	491	600	491	406	968	851	859	214	907	903	618	621	238	364	623	238	621
H	284	950	927	696	837	998	964	891	964	853	731	0	8	789	292	296	897	912	851	949	910	851	912
I	1020	552	619	402	425	0	350	525	350	197	1077	998	1006	351	1020	1016	543	546	609	621	548	609	546
J	988	818	889	530	565	546	704	21	704	375	1083	912	916	593	996	992	15	0	803	891	2	803	0
K	884	558	625	274	349	196	472	355	472	1	979	854	862	345	892	888	373	376	571	627	378	571	376
L	1020	552	619	402	425	0	350	525	350	197	1077	998	1006	351	1020	1016	543	546	609	621	548	609	546
M	282	948	925	694	835	996	962	885	962	851	729	18	10	787	290	294	891	906	849	947	904	849	906
N	0	1014	991	760	689	1020	1048	967	1048	883	447	284	292	853	8	12	973	988	915	1013	986	915	988
O	970	50	27	408	589	596	506	847	506	607	1023	906	914	405	962	958	865	868	223	123	870	223	868
P	979	165	98	387	602	605	411	796	411	586	1032	915	923	390	971	967	814	817	102	180	819	102	817
Q	963	795	866	507	546	523	681	4	681	352	1058	887	891	570	971	967	22	25	780	868	25	780	25
R	986	820	891	532	563	548	706	23	706	377	1081	910	914	595	994	990	17	2	805	893	0	805	2
S	686	536	607	380	3	422	598	547	598	345	739	834	842	467	686	682	565	568	585	609	566	585	568
T	4	1010	987	756	685	1016	1044	963	1044	879	443	288	296	849	12	8	969	984	911	1009	982	911	984
U	935	493	542	467	550	425	113	636	113	546	1022	851	859	396	927	923	654	657	526	560	655	526	657
V	887	553	622	277	352	193	469	358	469	4	982	857	865	348	895	891	376	379	568	624	381	568	379
W	1015	75	98	521	614	623	511	872	511	630	1068	951	959	524	1007	1003	890	893	206	2	895	206	893
X	988	828	899	540	575	556	714	53	714	385	1083	912	916	603	996	992	61	74	813	901	76	813	74

MATRIZ DE DIFERENÇA DE TEMPO ENTRE PRODUTOS CONSIDERANDO SOMENTE AS OPERAÇÕES DA UMM DE PORTAS PARTE II

	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	NA	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU
A	259	372	374	267	294	287	291	53	291	277	372	258	262	269	258	258	81	90	355	374	140	383	90
B	301	174	176	249	106	1	61	245	61	11	174	300	304	247	300	300	287	378	157	176	346	185	378
C	7	160	162	105	302	299	255	209	255	303	132	0	8	107	14	12	257	342	153	162	302	167	342
D	7	148	150	105	302	299	255	209	255	303	126	12	12	107	2	0	257	342	143	150	302	157	342
E	57	102	104	65	252	251	207	227	207	255	110	62	60	67	52	50	269	360	95	104	314	119	360
F	156	1	1	148	155	174	130	330	130	178	29	161	155	150	151	149	372	463	18	1	417	38	463
G	207	74	72	117	158	189	145	331	145	193	94	206	204	119	208	206	373	422	79	72	432	65	464
H	7	160	162	105	302	299	255	209	255	303	132	0	8	107	14	12	257	342	153	162	302	167	342
I	300	173	175	248	105	0	60	244	60	12	173	299	303	246	299	299	286	377	156	175	345	184	377
J	300	421	423	316	343	336	340	92	340	326	421	301	303	318	299	301	50	131	404	423	19	432	41
K	301	174	176	249	106	1	61	245	61	11	174	300	304	247	300	300	287	378	157	176	346	185	378
L	295	168	170	243	100	17	43	237	43	29	168	294	298	241	294	294	279	370	151	170	338	179	370
M	5	154	156	103	300	303	259	211	259	307	132	8	0	105	12	12	261	344	153	156	306	167	344
N	0	155	157	106	303	300	256	208	256	304	127	7	5	108	7	7	258	341	148	157	303	162	341
O	155	0	2	149	156	173	129	329	129	177	28	160	154	151	150	148	371	462	17	2	416	37	462
P	146	9	11	158	165	164	120	320	120	168	19	151	149	160	141	139	362	453	8	11	407	28	453
Q	178	297	299	192	219	212	216	32	216	202	297	177	181	194	177	80	165	280	299	139	308	165	
R	303	416	418	311	338	331	335	97	335	321	416	302	306	313	302	302	45	46	399	418	104	385	136
S	291	144	142	211	12	111	59	239	59	101	164	290	288	211	292	290	281	372	149	142	340	177	372
T	0	155	157	106	303	300	256	208	256	304	127	7	5	108	7	7	258	341	148	157	303	162	341
U	157	228	230	113	166	159	99	149	99	161	228	156	160	111	156	156	191	282	211	230	250	239	282
V	304	177	179	252	95	12	62	234	62	0	177	303	307	250	303	303	276	367	160	179	335	188	367
W	157	2	0	147	154	175	131	331	131	179	30	162	156	149	152	150	373	464	19	0	418	39	464
X	299	412	414	307	334	327	331	93	331	317	412	298	302	309	298	298	41	50	395	414	100	423	50

