

Alessandro Lucas da Silva

Desenvolvimento de um modelo de análise e projeto de *layout* industrial, em ambientes de alta variedade de peças, orientado para a Produção Enxuta

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Gestão de Operações

Orientador: Prof. Associado Antonio Freitas Rentes

São Carlos

2009

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

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

5586d Silva, Alessandro Lucas da
Desenvolvimento de um modelo de análise e projeto de layout industrial, em ambientes de alta variedade de peças, orientado para a produção enxuta / Alessandro Lucas da Silva ; orientador Antonio Freitas Rentes. -- São Carlos, 2009.

Tese (Doutorado-Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Área de Concentração em Processos e Gestão de Operações) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2009.

1. Arranjo físico. 2. Produção enxuta. 3. Evento Kaizen. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro ALESSANDRO LUCAS DA SILVA.

Tese defendida e julgada em 08/09/2009 perante a Comissão Julgadora:



Prof. Associado ANTONIO FREITAS RENTES (Orientador)
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP) aprovado



Prof. Titular EDUARDO VILA GONÇALVES FILHO
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP) APROVADO



Prof. Associado FÁBIO MÜLLER GUERRINI
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP) Aprovado



Prof. Dr. FERNANDO BERNARDI DE SOUZA
(Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho"/UNESP/Campus de Bauru) APROVADO



Prof. Dr. FERNANDO CELSO DE CAMPOS
(Universidade Metodista de Piracicaba/UNIMEP) APROVADO



Prof. Associado AQUILES ELIE GUIMARÃES KALATZIS
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Produção



Prof. Titular GERALDO ROBERTO MARTINS DA COSTA
Presidente da Comissão da Pós-Graduação da EESC

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais e meu
irmão pelo apoio concedido em todos os
momentos

Agradecimentos

Agradeço ao professor e amigo Antonio Freitas Rentes pela orientação e apoio neste trabalho.

Agradeço à FAPESP pelo apoio financeiro concedido para o desenvolvimento desta pesquisa.

Agradeço ao professor Antonio Basto pelo apoio durante minha permanência na Universidade do Porto.

Agradeço aos amigos do laboratório pelos bons momentos de trabalho juntos.

Agradeço ao amigo Edwin por toda ajuda prestada durante a realização desse trabalho.

Agradeço ao Daniel e Ava por me receberem em sua casa nos momentos de finalização desse trabalho.

RESUMO

Silva, A.L. (2009), *Desenvolvimento de um modelo de análise e projeto de layout industrial orientado para a Produção Enxuta*. 2009, 243p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

Este trabalho busca apresentar um modelo de análise e projeto de *layout* industrial para empresas que estão implantando ou já implantaram os conceitos da Produção Enxuta. O modelo desenvolvido foca empresas de manufatura discreta em ambientes com uma alta variedade de produtos. O desenvolvimento do modelo foi elaborado com base na literatura técnica e na experiência prática em projetos de *layouts* desenvolvidos em diversas empresas. O objetivo principal desse trabalho foi desenvolver um modelo de fácil utilização que auxilie as pessoas envolvidas no projeto do arranjo físico. Esse modelo concebido utiliza ferramentas e conceitos da Produção Enxuta para analisar e projetar o novo *layout*, e como tal, não considera o layout como uma variável independente no sistema produtivo. Fatores como gestão visual, qualidade, fluxo contínuo, complexidade de programação da produção, entre outros, foram levados em consideração na construção do modelo. Este também incorpora uma metodologia de implantação do arranjo físico projetado em situações *brown field*, ou seja, com a fábrica em funcionamento. Esse ponto é de extrema importância pois alterações do *layout* podem incorrer em interrupções no fluxo produtivo e, conseqüentemente, em falhas na entrega dos produtos aos clientes. Por último, esse trabalho apresenta a metodologia 3P *Kaizen*, uma metodologia de projeto de *layout* industrial desenvolvida pela *Toyota* e utilizada em situações de projeto de novas fábricas ou de novas linhas de produção.

Palavras-chave: *Layout*, Produção Enxuta, Evento *Kaizen*.

ABSTRACT

Silva, A.L. (2009), *Development of a model to analyze and design lean manufacturing oriented industrial layout*. 2009, 243p. Thesis (Phd) – Engineering School of São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2009.

This work aims to show a model to analyze and design an industrial layout for companies that are implementing or have implemented lean manufacturing concepts. The model developed has a focus in discrete manufacturing companies in environments of high variety of products. The development of the model was based on the experience of layouts projects developed in many companies. The main aim of this work is to create an easy model of application that help people that are involved in the design of the facilities resources. This model utilizes tools and concepts of lean manufacturing to analyze and design a new layout, without considering the layout as an independent variable of production system. Aspects like visual management, quality, continuous flow, etc., were considered in the construction of the model. The layout design model presents also a methodology to implement a new layout projected in brown field situations, where the factory activities do not need to stop its activities. This point is very important because changing in the position of facilities resources can cause interruption in the flow of products. At last, this work shows the 3P Kaizen, a Japanese methodology, developed by Toyota, to design a layout of a new factory or a new production line.

Keywords: Layout, Lean Manufacturing, Kaizen Event.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|------------|
| CAPÍTULO 1 | 16 |
| <i>Figura 1 Modelo de pesquisa</i> | 21 |
| CAPÍTULO 2 | 24 |
| <i>Figura 2 Sistema de Produção Enxuta (Lean Institute, 2003)</i> | 27 |
| <i>Figura 3 Tempo das atividades que agregam e não agregam valor ao produto</i> | 31 |
| <i>Figura 4 Desperdício de Superprodução</i> | 32 |
| <i>Figura 5 Transporte excessivo ao longo da fábrica</i> | 33 |
| <i>Figura 6 Desperdício de estoques</i> | 34 |
| CAPÍTULO 3 | 36 |
| <i>Figura 7 Lista cronológica dos softwares de projeto de layout</i> | 37 |
| <i>Figura 8 Exemplo de layout funcional</i> | 43 |
| <i>Figura 9 Layout funcional de uma empresa de estruturas metálicas</i> | 44 |
| <i>Figura 10 Layout por produto (em linha)</i> | 46 |
| <i>Figura 11 Variações do layout em linha</i> | 47 |
| <i>Figura 12 Variações do layout celular</i> | 52 |
| <i>Figura 13 Matriz de treinamento</i> | 53 |
| <i>Figura 14 Layout modular: Módulo célula</i> | 54 |
| <i>Figura 15 Layout Modular: Módulo centro de usinagem</i> | 55 |
| <i>Figura 16 Layout Modular: Módulo fluxo em linha</i> | 55 |
| <i>Figura 17 Layout Modular: Módulo fluxo em linha ramificado</i> | 55 |
| <i>Figura 18 Layout modular: Módulo Funcional</i> | 56 |
| <i>Figura 19 Exemplo de célula e mini-fábrica de produção</i> | 57 |
| <i>Figura 20 Exemplo de aplicação do conceito de mini-fábricas de produção</i> | 58 |
| <i>Figura 21 Exemplo esquemático de layout fractal</i> | 59 |
| <i>Figura 22 Exemplo de um layout reconfigurável</i> | 63 |
| <i>Figura 23 Exemplo de aplicação do sistema RMS</i> | 64 |
| <i>Figura 24 Exemplo de configurações de layout para produtos diferentes</i> | 66 |
| CAPÍTULO 4 | 74 |
| <i>Figura 25 Reestruturação do layout</i> | 75 |
| <i>Figura 26 Etapas de mudança necessárias para realocar os departamentos</i> | 75 |
| <i>Figura 27 Etapas do evento kaizen</i> | 78 |
| CAPÍTULO 5 | 80 |
| <i>Figura 28 Modelo SLP (Muther, 1973)</i> | 81 |
| <i>Figura 29 Diagrama de relacionamento</i> | 81 |
| <i>Figura 30 Diagrama de relacionamento e espaço</i> | 83 |
| <i>Figura 31 Modelo simplificado de projeto de células</i> | 84 |
| <i>Figura 32 Janela principal do sistema</i> | 85 |
| <i>Figura 33 Principais interações do sistema de apoio ao desenho de implantações fabris</i> | 87 |
| <i>Figura 34 Modelo de Gonçalves Filho (Gonçalves Filho, 2005)</i> | 88 |
| <i>Figura 35 Modelo de projeto da estação de trabalho</i> | 91 |
| <i>Figura 36 : Seven ways para cada processo</i> | 93 |
| <i>Figura 37 Checklist de avaliação</i> | 95 |
| <i>Figura 38 Ferramenta Process at a glance</i> | 96 |
| CAPÍTULO 6 | 100 |
| <i>Figura 39 Macro etapas do modelo proposto de projeto de layout</i> | 101 |
| <i>Figura 40 a Algoritmo da primeira etapa do modelo de análise e projeto de layout</i> | 103 |
| <i>Figura 40b Algoritmo da segunda etapa do modelo</i> | 104 |
| <i>Figura 40 c Algoritmo da terceira etapa do modelo de análise e projeto de layout</i> | 105 |
| <i>Figura 41 Exemplo de Diagrama de Espaguete</i> | 108 |
| <i>Figura 42 Exemplo didático de um Mapa do Fluxo de Valor</i> | 109 |
| <i>Figura 43 – Mapa do fluxo de valor de uma indústria de reforma de peças automotivas com os loops de implantação</i> | 111 |
| <i>Figura 44 – Exemplo de células separadas por supermercado e pulmão de peças</i> | 114 |

| | |
|---|-----|
| CAPÍTULO 7..... | 120 |
| Figura 45 fotos de alguns dos produtos | 120 |
| Figura 46 layout da unidade fabril em Diadema | 126 |
| Figura 47 Diagrama de espaguete do fluxo interno e da movimentação entre fábricas..... | 128 |
| Figura 48 MFV macro da situação atual (inicial)..... | 130 |
| Figura 49 Mapa do estado futuro (Diadema)..... | 133 |
| Figura 50 Loops de implantação identificados no MFV futuro | 135 |
| Figura 51 tempos de ciclos comparado com o tempo takt..... | 137 |
| Figura 52 tempos de ciclos balanceados comparado com o tempo takt..... | 139 |
| Figura 53 Espaço necessário para os produtos acabados | 139 |
| Figura 54 Layout do loop em análise..... | 140 |
| Figura 55 layout detalhado da célula de fabricação da família A | 141 |
| Figura 56 Método de cálculo do TPT | 143 |
| Figura 57 Dimensões do supermercado de peças..... | 145 |
| Figura 58 Layout do módulo do loop..... | 146 |
| Figura 59 Layout apenas com os elementos restritivos..... | 148 |
| Figura 60 Alternativa de layout formulada | 149 |
| Figura 61 Alternativa de layout formulada | 150 |
| Figura 62 Alternativa de layout selecionada | 151 |
| A figura 63 apresenta o diagrama de espaguete para a alternativa de layout projetada | 152 |
| Figura 64 Alternativa de layout selecionada | 154 |
| Figura 65 Descrição das atividades do evento kaizen | 156 |
| Figura 66 Fotos do evento kaizen | 157 |
| Figura 67 Medidas de desempenho para as células | 158 |
| Figura 68 Fotos antes e depois da mudança de layout | 160 |
| CAPÍTULO 8..... | 163 |
| Figura 69 Exemplo de turbinas fabricadas na empresa..... | 163 |
| Figura 70 layout anterior do chão-de-fábrica | 170 |
| Figura 71 Diagrama de Espaguete da família de Diafragama | 172 |
| Figura 72 Mapa do fluxo de valor da situação inicial para turbinas pequenas | 174 |
| Figura 73 Mapa do fluxo de valor da situação futura de turbinas pequenas | 177 |
| Figura 74 MFV futuro com os loops de implantação em destaque | 179 |
| Figura 75 gráfico comparativo entre os tempos de processo e o takt antes do balanceamento das operações | 182 |
| Figura 76 gráfico comparativo entre os tempos de processo e o takt.após o balanceamento das operações..... | 183 |
| Figura 77 tamanho do supermercado de mancais | 184 |
| Figura 78 tamanho do supermercado de buchas | 184 |
| Figura 79 tamanho do supermercado de anéis | 185 |
| Figura 80 Pontos de pulmão e supermercado | 185 |
| Figura 81 Prateleira para armazenamento de peças | 186 |
| Figura 82 Layout inicial em detalhes do setor de mancais | 187 |
| Figura 83 Layout projetado para a família de mancais..... | 188 |
| Figura 84 Elementos restritivos identificados..... | 189 |
| Figura 85 Mini-fábrica de usinagem..... | 190 |
| Figura 86 Distribuição dos building blocks | 192 |
| Figura 87 Diagrama de Espaguete entre os building blocks..... | 194 |
| Figura 88 Layout final projetado | 198 |
| Figura 89 Planejamento das ações kaizens a serem realizadas | 200 |
| Figura 90 Fotos do evento kaizen de mancais | 201 |
| Figura 91 Check-list de acompanhamento das mudanças realizadas | 202 |
| Figura 92 Evolução dos estoques de mancais | 204 |
| APÊNDICE 1..... | 224 |
| Figura 95 Diagrama de Espaguete Situação Inicial Família A (Estudo de Caso 1) | 225 |
| Figura 96 Diagrama de Espaguete Situação Inicial Família B (Estudo de Caso 1) | 226 |
| Figura 97 Diagrama de Espaguete Situação Inicial Família C (Estudo de Caso 1) | 227 |
| Figura 98 Diagrama de Espaguete no Layout Inicial Família Diafragma e Injetores (Estudo de Caso 2)..... | 228 |
| Figura 99 Diagrama de Espaguete no Layout Projetado Família Diafragma (IMPLANTADO) (Estudo de Caso 2)..... | 229 |
| Figura 100 Diagrama de Espaguete no Layout Inicial Família Carcaças (Estudo de Caso 2) | 230 |
| Figura 101 Diagrama de Espaguete no Layout Projetado Família Carcaças (Estudo de Caso 2)..... | 231 |
| Figura 102 Diagrama de Espaguete no Layout Inicial Família Eixo Simples (Estudo de Caso 2)..... | 232 |

| | |
|--|-----|
| <i>Figura 103 Diagrama de Espaguete no Layout Projetado Família Eixo Simples (IMPLANTADO) (Estudo de Caso 2)</i> | 233 |
| <i>Figura 105 Diagrama de Espaguete no Layout Projetado Família Eixo Integrado (Estudo de Caso 2)</i> | 235 |
| <i>Figura 106 Diagrama de Espaguete no Layout Inicial Família Palhetas (Estudo de Caso 2)</i> | 236 |
| <i>Figura 107 Diagrama de Espaguete no Layout Projetado Família Palhetas(IMPLANTADO) (Estudo de Caso 2)</i> | 237 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| CAPÍTULO 3 | 35 |
| Tabela 1 – Resultados da implantação de células de manufatura | 48 |
| Tabela 2 Análise comparativa entre tipos diferentes de layout para sete estudos de casos | 59 |
| Tabela 3 Análise dos diferentes modelos de layouts sob a ótica da Produção Enxuta | 71 |
| | |
| CAPÍTULO 6 | 99 |
| Tabela 4 Exemplo de movimentações em um layout..... | 109 |
| Tabela 5 – Elementos restritivos | 112 |
| Tabela 6 Cálculo do TPT..... | 114 |
| | |
| CAPÍTULO 7 | 119 |
| Tabela 7 Relação dos produtos fabricados..... | 120 |
| Tabela 8 Análise ABC para os produtos fabricados | 121 |
| Tabela 9 Lista de componentes dos produtos da Família A | 123 |
| Tabela 10 Distâncias percorridas pelos materiais e pessoas | 130 |
| Tabela 11 Cálculo do TPT..... | 142 |
| Tabela 12 Capacidade de máquina x tempo necessário..... | 143 |
| Tabela 13 Movimentação de materiais e pessoas..... | 152 |
| Tabela 14 Equipe do kaizen..... | 156 |
| | |
| CAPÍTULO 8 | 162 |
| Tabela 15 Demanda de turbinas pequenas..... | 164 |
| Tabela 16 Demanda de turbinas médias | 164 |
| Tabela 17 Demanda de turbinas grandes..... | 165 |
| Tabela 18 Movimentação de peças..... | 174 |
| Tabela 19 Comparativo entre o takt time e os tempos de operação | 180 |
| Tabela 20 Comparativo entre as distâncias percorridas pelas famílias no layout inicial e no layout proposto. | 194 |
| Tabela 21 Medidas de desempenho | 202 |
| | |
| Capítulo 9 | 207 |
| Tabela 22 resultados alcançados nas empresas..... | 209 |

Lista de Abreviaturas e Siglas

WIP: *work in process*

TPT: toda parte toda (*every part every*)

NRC: *National Research Council*

MFV: Mapa do Fluxo de Valor

SLP: *Systematic Layout Planning*

SUMÁRIO

| | |
|--|------------|
| CAPÍTULO 1..... | 16 |
| 1. INTRODUÇÃO | 16 |
| 1.1 Caracterização do tema de pesquisa | 16 |
| 1.2 Justificativa | 17 |
| 1.3 Oportunidade de Pesquisa | 18 |
| 1.4 Objetivo..... | 19 |
| 1.5 Escopo da pesquisa | 20 |
| 1.6 Metodologia..... | 20 |
| 1.7 Organização da tese | 22 |
| CAPÍTULO 2..... | 24 |
| 2. O SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO | 24 |
| 2.1 Definição de Sistema de Produção Enxuta..... | 25 |
| 2.2 Os princípios da Produção Enxuta e os desperdícios de um sistema tradicional de produção. | 29 |
| CAPÍTULO 3..... | 36 |
| 3. LAYOUT | 36 |
| 3.1 Um breve histórico sobre os modelos de planejamento do layout | 37 |
| 3.2 A importância do layout para as empresas | 38 |
| 3.3 Porque planejar o layout?..... | 41 |
| 3.4 Modelos tradicionais de layouts | 42 |
| 3.5 Os novos conceitos de layout..... | 54 |
| 3.6 Análise dos modelos de layout sob a ótica da Produção Enxuta | 67 |
| CAPÍTULO 4..... | 74 |
| 4. O EVENTO KAIZEN | 74 |
| 4.1 Implantando o layout com a fábrica em funcionamento..... | 74 |
| 4.2 Kaizen e o Evento Kaizen..... | 76 |
| CAPÍTULO 5..... | 80 |
| 5. MODELOS DE CONSTRUÇÃO DE LAYOUT. | 80 |
| 5.1 Modelos de projeto de layout | 80 |
| 5.2 Análise dos modelos de projeto de layout | 96 |
| CAPÍTULO 6..... | 100 |
| 6. O MODELO PROPOSTO DE PROJETO DE LAYOUT. | 100 |
| 6.1 Modelo de Análise, Projeto e Implantação de Layout | 100 |
| 6.2. Primeira Etapa: Levantamento da Situação Atual..... | 105 |
| 6.3. Segunda etapa: Projeto da Situação Futura (Projeto do novo layout)..... | 110 |
| 6.4. Terceira etapa: Implantação e Acompanhamento | 118 |
| CAPÍTULO 7..... | 120 |
| 7. ESTUDO DE CASO: EMPRESA DE COMPONENTES SOLDADOS. | 120 |

| | |
|--|------------|
| <i>A seguir, será apresentado o primeiro estudo de caso, onde foi aplicado o modelo proposto de projeto de layout.</i> | 120 |
| <i>7.1 Apresentação da empresa</i> | 120 |
| <i>7.2 Primeira Etapa – Levantamento da Situação Atual</i> | 121 |
| <i>7.3 Segunda Etapa – Projeto da Situação Futura</i> | 132 |
| <i>7.4 Terceira Etapa – Implantação e Acompanhamento</i> | 155 |
| <i>7.5 Análise Geral</i> | 160 |
| CAPÍTULO 8 | 163 |
| 8. ESTUDO DE CASO: EMPRESA DE TURBINAS DE ENERGIA | 163 |
| <i>Esse capítulo refere-se ao segundo estudo de caso, onde foi aplicado o modelo propostos de projeto de layout.</i> | 163 |
| <i>8.1 Apresentação da empresa</i> | 163 |
| <i>8.2 Primeira Etapa – Levantamento da Situação Atual</i> | 164 |
| CAPÍTULO 9 | 205 |
| 9. CONCLUSÃO | 205 |
| BIBLIOGRAFIA | 215 |
| APÊNDICE 1 | 224 |

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

O arranjo físico das instalações industriais tem grande impacto no desempenho da empresa. Desde a localização das unidades de negócio à organização do micro-espço do posto de trabalho do operador, o projeto do *layout* deve ser conduzido de forma eficiente e eficaz. Isso porque os efeitos de um arranjo físico bom ou ruim irão ser percebidos pela organização nos resultados do seu negócio.

Tendo por base a importância do arranjo físico para as empresas, este trabalho aborda a questão do *layout* buscando contribuir com a pesquisa nesta área.

1.1 Caracterização do tema de pesquisa

A revolução que o sistema de produção desenvolvido na *Toyota* trouxe ao mundo empresarial foi um marco na história da fabricação moderna. Os conceitos de redução de estoques, produção *just in time*, paradas de linhas para eliminação de desperdícios, entre inúmeros outros, revolucionaram a forma de se pensar a produção. Os resultados das pesquisas apresentados no livro “A Máquina que Mudou o Mundo”, mostrou pela primeira vez ao mundo empresarial que um novo conceito de produção havia surgido e superava em muitos aspectos os tradicionais princípios da produção em massa.

Esse sistema de produção desenvolvido na *Toyota* e posteriormente denominado de Produção Enxuta pode ser definido como um novo paradigma de produção, como uma nova forma de pensar a empresa como um todo. Esta nova Filosofia de produção engloba um conjunto de técnicas e conceitos, como Fluxo Contínuo, Sistema *Kanban*, *Layout* Celular, Fornecimento *Just in Time*, etc. Dentro desse universo de ferramentas e conceitos Rother e Harris (2002) destacam que o Fluxo Contínuo é o objetivo principal da Produção Enxuta.

Corrêa e Corrêa (2004) destacam que com a implantação de um fluxo contínuo de produção ocorre uma redução de estoques e também uma diminuição do tamanho dos lotes de fabricação e transferência. Mas, para se conseguir implantar um fluxo contínuo é necessário,

entre outros aspectos, reorganizar os recursos disponíveis na fábrica, ou seja, re-projetar o *layout*.

A reorganização dos recursos produtivos constitui-se numa das peças chaves na concepção e implantação, com sucesso, da Produção Enxuta. Como será apresentado em detalhes mais adiante, dentre os tradicionais sete desperdícios identificados por Shingo no Sistema *Toyota* de Produção, três destes estão diretamente relacionados com a disposição física dos equipamentos de produção: Transporte Excessivo, Movimentação Desnecessária e Estoques.

Atualmente, muitas empresas ainda se utilizam de arranjos físicos inadequados que oneram seu processo produtivo. Isso tem incorrido em perdas consideráveis em termos de aumento no tamanho dos lotes de transferência, movimentação excessiva dos funcionários e dos produtos/peças, aumento no *lead time* total de fabricação, etc. E existem também perdas não-mensuráveis como a dificuldade de gerenciamento do fluxo produtivo em um *layout* com fluxos de processo aleatórios.

Com base neste cenário busca-se neste trabalho desenvolver um modelo de projeto e implantação de *layout*, com base nos conceitos e princípios da Produção Enxuta, o qual auxilie as empresas a projetarem ou mesmo reestruturarem seus *layouts* existentes, adequando-os da melhor forma possível às suas características particulares.

1.2 Justificativa

"Tanto a Europa Ocidental desenvolvida, como os países emergentes do Leste Europeu estão encontrando enormes problemas para enfrentar as expectativas crescentes dos clientes, e proporcionar qualidade em um mundo onde as velhas fórmulas de produção em massa não são mais aplicáveis", (MASING, 2002).

Esse cenário pode ser observado em empresas em todo o mundo. Os princípios de competitividade, nos quais se fundamentava a produção em massa não mais existem. A Filosofia de Produção Enxuta propõe uma resposta de adaptação dos sistemas produtivos às necessidades do mercado consumidor atual. Esta nova forma de produzir levou a *Toyota* a patamares de excelência ainda perseguidos por muitas empresas.

Em particular, o desenvolvimento dessa pesquisa justifica-se na importância que o *layout* assume perante o Sistema de Produção Enxuta. A análise do *layout*, com base nos

conceitos de fluxo contínuo, fluxo unitário de peças, estoques zero, gestão visual, entre outros fatores é a base para uma empresa ter um sistema de manufatura ágil e flexível.

A concepção e projeto do *layout* têm se mostrado como etapa chave na implantação do Sistema de Produção Enxuta. Por exemplo, Miltenburg (2001) destaca que muitos autores afirmam que entre as ferramentas utilizadas pela Produção Enxuta, o *layout* celular mostra-se muito adequado para possibilitar a redução de *lead times*, custos e melhoria da qualidade.

A importância do *layout* transcende os aspectos meramente de movimentação de material e tamanho dos lotes de produção. O arranjo físico dos equipamentos impacta, entre outros aspectos, no grau de dificuldade da programação e controle da produção.

Portanto, o estudo do *layout* envolvendo todos esses aspectos quantitativos e qualitativos, é muito importante como base de conhecimento a ser utilizado pelas empresas que buscam atingir excelência no seu processo de fabricação.

1.3 Oportunidade de Pesquisa

A abordagem de *layout* do Sistema de Produção Enxuta tem se concentrado principalmente nas células de manufatura. Muito pouco tem sido abordado na literatura sobre a possibilidade de se utilizar outras formas de disposição física dos equipamentos em um contexto de Produção Enxuta.

Além disso, muitos trabalhos buscam mostrar a importância do *layout* em termos de redução de movimentação de peças. Poucos estudos têm buscado mostrar quais são os ganhos qualitativos que o *layout* pode gerar como, gerenciamento visual, influência no nível de complexidade da programação, redução do *lead time*, melhoria da qualidade, entre outros.

Por último, em ambientes de alta variedade de peças e produtos existe uma dificuldade em se implantar o *layout* celular. Portanto, como se deve proceder em cenários de produção como esse? Qual o melhor modelo de *layout* a se utilizar?

Nesse contexto, com o propósito de iniciar um debate sobre esse aspecto, algumas questões de pesquisa foram formuladas para esse trabalho:

1. Como projetar um *layout* em ambientes de alta variedade de peças e produtos, considerando os princípios da produção enxuta?

2. Quais as principais dificuldades em se alterar um *layout* com a fábrica em funcionamento?
3. Quais os benefícios, quantitativos e qualitativos, que a mudança de *layout* pode trazer para uma empresa que está implantando o Sistema de Produção Enxuta?
4. Quais as características associadas aos tipos de *layout* que estão em conformidade com os princípios da Produção Enxuta?
5. As células de manufatura são o único *layout* que deve ser utilizado na implantação do Sistema de Produção Enxuta ou outras formas de *layout* podem ser usadas?
6. Dentro da Filosofia de Produção Enxuta existem características de processo que induzem a tipos específicos de *layout*?

1.4 Objetivo

1.4.1 Geral

Dentro do universo de conceitos e aspectos da Produção Enxuta, o foco desta pesquisa é trabalhar a questão do projeto do *layout*, em ambientes de alta variedade de peças/produtos, em empresas que estão implantando ou já consolidaram a implantação desta Filosofia.

O objetivo é desenvolver um modelo para projeto, planejamento e implantação de *layout*, em ambientes de alta variedade de peças/produtos, com base nos conceitos da Produção Enxuta.

1.4.2 Específico

Os objetivos específicos são:

1. Desenvolver um modelo de projeto de *layout* em ambientes de alta variedade de peças/produtos, que contemple os princípios de Produção Enxuta.
2. Levantar quais são os benefícios, quantitativos e qualitativos, que a mudança de *layout* pode trazer para a empresa que adota o Sistema de Produção Enxuta.
3. Levantar se existem outras formas de *layout*, diferentes das células de produção, que podem ser utilizadas na implantação do Sistema de Produção Enxuta.

4. Levantar quais as características dos mais diversos *layouts* que estão em consonância com os princípios da Produção Enxuta.
5. Levantar se as características de produtos, componentes ou processos induzem a tipos específicos de *layouts*.
6. Identificar as principais dificuldades em se projetar o layout com a fábrica em funcionamento.

1.5 Escopo da pesquisa

O escopo do trabalho é o desenvolvimento de um modelo de projeto de *layout* direcionado para empresas de manufatura discreta em ambientes de alta variedade de produtos. Essa restrição do modelo deve-se à inviabilidade de se abordar todos os aspectos dos diferentes ambientes de produção.

1.6 Metodologia de pesquisa

Segundo Miguel (2007) esta pesquisa pode ser classificada como um estudo de caso. O estudo de caso é um estudo de natureza empírica que investiga um determinado fenômeno, geralmente contemporâneo, dentro de um contexto real de vida, quando as fronteiras entre o fenômeno e o contexto em que ele se insere não são claramente definidas. Trata-se de uma análise aprofundada de um ou mais objetivos (casos), para que permita o seu amplo e detalhado conhecimento (GIL, 1996, BERTO e NAKANO, 2000). A principal tendência em todos os tipos de estudos de casos (exploratórios, explanatórios ou descritivos), é que estes tentam esclarecer o motivo pelo qual uma decisão ou um conjunto de decisões foram tomadas, como foram implementadas e com quais resultados alcançados (YIN, 2001).

Esse trabalho se baseou na metodologia determinada por Miguel (2007) para um estudo de caso, ver figura 1.

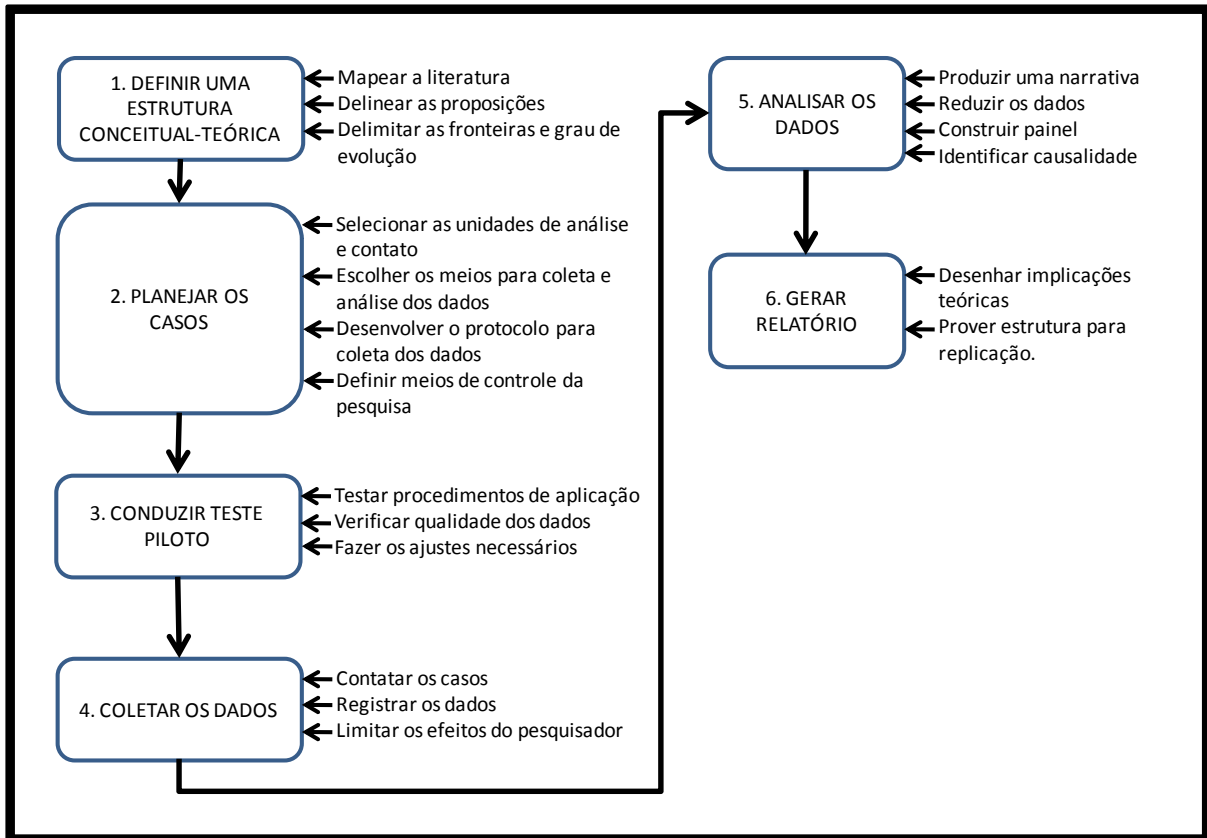


Figura 1 Modelo de pesquisa

Fonte: Miguel (2007)

A seguir são detalhadas as etapas e atividades do modelo de pesquisa adotado.

Etapa 1 – Definir uma estrutura conceitual teórica

Nesta etapa, será realizada uma revisão bibliográfica identificando trabalhos de cunho teórico e prático em relação ao tema. O objetivo é formar uma base teórica que fundamente o trabalho e justifique a importância do mesmo.

Etapa 2: Planejar os dados

Segundo Miguel (2005) uma das primeiras tarefas nesse planejamento é a escolha das unidades a serem analisadas. Deve-se planejar a quantidade de estudos de casos que fundamentarão a pesquisa. Neste trabalho, serão realizados três estudos aplicações práticas do modelo de projeto de *layout* proposto, sendo que dois estudos de casos serão completamente descritos. Para um dos estudos de casos será relatado apenas os resultados.

Quanto ao método de coleta de dados, será realizada uma pesquisa *in loco*. Ou seja, o pesquisador irá realizar visitas ao chão-de-fábrica e aplicar o modelo de projeto de *layout* proposto, procurando observar as limitações, dificuldades e virtudes do mesmo.

Etapa 3: Conduzir teste piloto

Nesta pesquisa não era realizado um teste piloto conforme definido por Miguel (2005). O que será feito é uma primeira aplicação do modelo em uma das empresas definidas. Após análise e correções do modelo este deverá ser aplicado em outras duas empresas.

Etapa 4: Coletar dados

A coleta dos dados consistirá da aplicação do modelo e no levantamento das informações. Na pesquisa em análise, a coleta de dados será encerrada somente com a finalização do arranjo físico de cada um dos estudos de casos.

Etapa 5: Analisar os dados

A análise dos dados será realizada após aplicação em cada estudo de caso. Conforme mencionado, o modelo de projeto de arranjo físico será aplicado inicialmente em uma empresa, e após análises e possíveis correções do modelo, este será aplicado e analisado em mais dois estudos de casos.

Etapa 6: Gerar relatório

A última etapa desta pesquisa será a elaboração do texto de defesa da tese. Neste texto, de uma forma geral, deverá constar o levantamento bibliográfico realizado, os estudos de casos, os resultados alcançados, uma análise crítica do modelo e uma proposta de futuras pesquisas nesta área.

1.7 Organização da tese

Este documento possui a seguinte estrutura:

Capítulo 1 - Introdução: neste capítulo estão inclusos os objetivos do projeto e a metodologia científica adotada.

Capítulo 2 - Sistemas de Produção: este capítulo contempla um breve histórico sobre a evolução dos sistemas de produção.

Capítulo 3 - O Sistema Toyota de Produção: este capítulo tem como conteúdo uma visão geral do Sistema Toyota de Produção.

Capítulo 4 - *Layout*: Neste capítulo são apresentados os diversos conceitos de layout e também uma análise crítica desses em relação aos princípios da Produção Enxuta.

Capítulo 5 - O evento *kaizen*: este capítulo aborda a questão do reprojeto do *layout* com a fábrica mantendo suas atividades rotineiras. Neste capítulo é introduzida uma metodologia de mudança com a fábrica em funcionamento.

Capítulo 6 - Modelos de construção do *layout*: esse capítulo apresenta uma análise de alguns modelos de projeto de *layout* existente na literatura.

Capítulo 7 - Modelo de projeto de *layout*: este capítulo apresenta o modelo de projeto de *layout* desenvolvido.

Capítulo 8 - Primeiro estudo de caso - “Empresa de componentes soldados”: neste capítulo é apresentada a primeira aplicação prática do modelo em uma empresa de itens soldados.

Capítulo 9 - Segundo estudo de caso - “Empresa de turbinas de energia”: neste capítulo é apresentado o segundo estudo de caso desenvolvido em uma empresa fabricante de turbinas de energia voltadas principalmente à indústria de açúcar e álcool.

Capítulo 10 - Conclusão: o capítulo contempla uma análise geral do modelo, com suas contribuições e restrições.

CAPÍTULO 2

2. O SISTEMA *TOYOTA* DE PRODUÇÃO

A história da *Toyota* tem início com a fabricação de teares para a indústria têxtil. Somente tempos depois, devido a um desejo pessoal do seu fundador, esta direcionou seus esforços para a fabricação de automóveis.

Para Corrêa e Corrêa (2004) a perda da guerra pelo Japão em 15 de agosto de 1945 marcou um reinício para a *Toyota*. A partir desse momento, devido às características do mercado interno japonês, a empresa sentiu a necessidade de reestruturar seu modelo de produção. Este foi o ponto de início da Produção Enxuta.

Standard e Davis (1999) destacam que no final da Segunda Guerra Mundial a *Toyota* era o maior fabricante de carros no Japão. Entretanto, comparando a produção da *Toyota* com as empresas automobilísticas do Ocidente sua produção era muito baixa. Até 1950 a *Toyota* tinha produzido ao longo de toda sua existência apenas 2700 veículos. Este volume de produção era inferior ao que era produzido na planta da Ford em *Rouge* em um simples período de produção.

Diferentemente do que ocorria nos Estados Unidos e na Europa existia, no Japão, uma necessidade de produzir veículos diferentes, ao contrário dos modelos padronizados fabricados pelo sistema de produção em massa. “As poucas fábricas de automóveis no Japão em 1950 necessitavam suprir uma demanda de transporte extremamente diversa como carros, veículos (*vans*) de entregas, caminhões, ambulâncias, *limousines*, caminhões de bombeiros, etc.” (STANDARD E DAVIS, 1999).

Com o fim da Guerra a *Toyota* sentiu a necessidade de se desenvolver ou seria eliminada do mercado pelas indústrias do Ocidente em franca expansão. Um problema da empresa destacado por Standard e Davis (1999) era que a produtividade da fábrica era nove

vezes menor do que a produtividade das empresas ocidentais. Segundo Corrêa e Corrêa (2004) “os japoneses não acreditavam que era possível que um trabalhador ocidental fosse nove vezes mais eficiente do que um trabalhador japonês. Provavelmente, eles estavam desperdiçando alguma coisa. E uma coisa que não podia acontecer em um ambiente escasso como era o do Japão do pós-guerra eram desperdícios”. Com base nessa percepção iniciou-se o desenvolvimento do Sistema de Produção da *Toyota*, fundamentado basicamente em um único princípio: Eliminar desperdícios.

Anos depois, os resultados alcançados pelo novo modelo de produção ganharam destaque com a publicação do livro “A máquina que mudou o mundo”. Nesse trabalho, Womack *ET AL.* (1990) fizeram uma análise comparativa entre a *Toyota* e as demais empresas automobilísticas. Os índices de produtividade e os demais critérios levados em consideração demonstravam uma superioridade da empresa em relação as mais tradicionais indústrias automobilísticas. Foi a primeira vez que o mundo ocidental percebeu que os esforços japoneses iniciados no pós-guerra tiveram um sucesso muito além do esperado dando início a uma completa revolução nos sistemas de produção. Este modelo de produção foi denominado neste trabalho de Sistema de Produção Enxuta (*Lean Production*).

Embora o termo Produção Enxuta tenha ganhado destaque apenas após a publicação do livro de Womack e Jones, a primeira pessoa a utilizar o termo “*lean*” (enxuto) foi KRAFCIK (1988) em seu artigo intitulado “*Triumph of the Lean Production System*”. O autor, em seu trabalho, busca salientar dois pontos importantes. Primeiro, que nem toda empresa japonesa possui um sistema produtivo enxuto semelhante ao da *Toyota*. E segundo, os conceitos do sistema *lean* embora tenham sido desenvolvidos no contexto da *Toyota* podem ser implantados com sucesso em qualquer empresa, independentemente do país.

O Sistema *Toyota* de Produção pode ser decomposto em um conjunto de princípios e ferramentas. A seguir, serão apresentadas algumas definições encontradas na literatura e princípios desse sistema de produção.

2.1 Definição de Sistema de Produção Enxuta

O Sistema de Produção Enxuta pode ser definido basicamente como um sistema que busca saciar a todas as expectativas dos clientes com base na eliminação de desperdícios. Algumas definições de Produção Enxuta são apresentadas a seguir.

Segundo Nystuen (2002) Produção Enxuta refere-se a eliminar desperdícios ao longo de toda a empresa – do chão de fábrica até aos escritórios. É produzir o que os consumidores querem no momento que eles desejam. Deve-se focar o modelo japonês de produção em aprender como produzir mais utilizando menos recursos.

A Produção Enxuta pode ser definida também como “um sistema de negócios para organizar e gerenciar o desenvolvimento de produtos, operações, fornecedores e relações com o cliente. A produção *lean*, em comparação à produção em massa, requer menos esforço humano, menos espaço, menos capital e menos tempo para fabricar produtos com menos defeitos de acordo com as especificações precisas dos desejos dos clientes”, (*LEAN INSTITUTE BRASIL*, 2003).

Segundo Kasul e Motwani (1997) o Sistema Toyota de Produção fornece à manufatura a quantidade necessária dos itens necessários no tempo necessário. O objetivo é gerar um sequenciamento eficiente da produção que foca no estudo dos movimentos dos trabalhadores e na eliminação de desperdícios.

Segundo Slack *ET AL.* (1999), uma definição abrangente para a Produção Enxuta seria:

“A Produção Enxuta é uma abordagem disciplinada, que visa aprimorar a produtividade global e eliminar os desperdícios. Ela possibilita a produção eficaz em termos de custo, assim como o fornecimento apenas da quantidade necessária de componentes, na qualidade correta, no momento e locais corretos, utilizando o mínimo de instalações, equipamentos, materiais e recursos humanos. A Produção Enxuta é dependente do balanço entre a flexibilidade do fornecedor e a flexibilidade do usuário. Ela é alcançada por meio da aplicação de elementos que requerem um envolvimento total dos funcionários e trabalho em equipe. Uma filosofia chave da Produção Enxuta é a simplificação”.

Warnecke e Hüser (1995) descrevem a Produção Enxuta como um sistema de medidas e métodos os quais quando tomados em conjunto, têm o potencial de tornar a empresa enxuta e, portanto, competitiva.

Inúmeras outras definições são apresentadas na literatura. Todas têm convergido para um único ponto: a eliminação de desperdícios. Como definição geral do Sistema *Toyota* a seguir é apresentada a visão de um dos seus idealizadores, Ohno (1988).

“A base do Sistema *Toyota* de Produção é a eliminação de desperdícios. O Sistema está apoiado em dois pontos principais, o *Just in time* e a automação. O *Just in time* significa que, em um processo produtivo, as peças corretas precisam chegar à linha de montagem no tempo necessário e somente na quantidade necessária. A empresa que consegue estabelecer esse padrão de fluxo pode atingir um nível zero de inventário em processo. A automação (automação com toque humano) envolve o maior poder que o funcionário possui para tomar decisões, inclusive de parar a linha de produção em casos de problemas detectados”.

A figura 2 apresenta os principais pontos do sistema de Produção Enxuta.

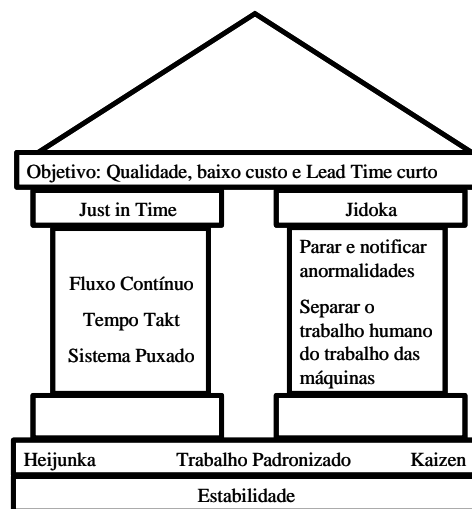


Figura 2 Sistema de Produção Enxuta (Lean Institute, 2003)

Outro dos idealizadores da Produção Enxuta destaca os seguintes pontos com relação a esse Sistema de produção, Shingo (1996):

- O princípio da minimização dos custos é um conceito básico subjacente ao Sistema *Toyota* de Produção. A sobrevivência da empresa depende, portanto, da redução dos custos. Isso requer a eliminação completa das perdas.
- A melhor resposta à demanda é a produção contrapedido. Sob esse sistema, a produção tradicional em grandes lotes deve ser abandonada. As exigências da produção contrapedido (alta diversidade, produção em baixas quantidades, entrega rápida e manejo da flutuação da carga) somente podem ser satisfeitas pela contínua e inflexível eliminação da perda por superprodução.

- O Sistema *Toyota* aceita o desafio da redução do custo da mão-de-obra e reconhece a vantagem de usar máquinas que sejam independentes dos trabalhadores. A redução do custo de mão-de-obra é um comprometimento cada vez mais presente no Sistema *Toyota* de Produção, simbolizada pela expressão “mínima força de trabalho”.
- A *Toyota* transformou um sistema de produção passivo e conciliatório, investigando as origens da produção convencional e derrubando crenças comumente aceitas para construir um novo sistema calcado em conceitos que jamais haviam sido antes utilizados.

Feld (2001) atribui à Produção Enxuta cinco elementos básicos, os quais estão relacionados à criação de um fluxo contínuo de produção, capacitação das equipes de trabalho e medição de desempenho das tarefas realizadas. Esses elementos são apresentados em detalhe a seguir:

- a. Fluxo da Manufatura (*Manufacturing Flow*): relaciona-se a toda uma análise do fluxo de manufatura no chão-de-fábrica. Envolve o mapeamento dos processos, análise da rotina (trabalho, processo, volume), cálculo de *takt time*, balanceamento da carga de trabalho, dimensionamento de *kanban*, *layout* celular, padronização do trabalho e fluxo unitário de peças.
- b. Organização (*Organization*): está relacionado a aspectos de treinamento e capacitação de pessoas para realização das tarefas de forma eficaz. Envolve aspectos como desenvolvimento de gerentes com visão de Produção Enxuta, treinamento de operários envolvendo: desenvolvimento da mentalidade enxuta, controle de células, melhoria contínua, esclarecimento de regras e responsabilidades, etc.
- c. Controle do processo (*Process Control*): está relacionado a aspectos diretos de monitoramento, controle, estabilização e desenvolvimento de caminhos para melhoria do processo. Utiliza as seguintes ferramentas: Manutenção Produtiva Total, *Poka yoke*, SMED (*Single Minute Exchange of Dies*), Controle Visual, 5S, entre outras.
- d. Métricas (*Metrics*): relaciona-se ao monitoramento do desempenho em relação às metas alvo estipuladas. As métricas podem ser: tempo de entrega no prazo

estipulado, *lead time* do processo, custo total, giro de estoque, utilização do espaço, distância percorrida por peças e produtos, produtividade, etc.

- e. Logística (*Logistics*): relacionado a aspectos de definição das regras de operação e aos mecanismos de planejamento e controle do fluxo de material. Envolve o balanceamento da carga de trabalho, análise ABC para controle das peças e produtos, alinhamento entre clientes e fornecedores, análise do *mix* na manufatura, etc.

2.2 Os princípios da Produção Enxuta e os desperdícios de um sistema tradicional de produção.

Shingo (1996), Womack e Jones (1996) e Bullington (2003), definem cinco princípios para a Produção Enxuta. Estes têm como objetivo aumentar a flexibilidade da empresa e capacitá-la para responder de forma rápida e eficiente às necessidades dos clientes. Os princípios são apresentados a seguir:

1. Primeiro Princípio da Produção Enxuta: Especifique o valor.

É o ponto de partida e deve ser definido segundo a perspectiva dos clientes finais. Deve-se começar com uma tentativa consciente de definir precisamente o valor em termos de produtos e serviços específicos. A especificação do valor consiste, portanto da determinação exata “dos anseios e expectativas do cliente para um determinado produto ou serviço”.

2. Segundo Princípio da Produção Enxuta: Identifique a cadeia de valor.

Consiste em identificar o conjunto de todas as atividades para se levar um produto específico a passar pelas tarefas de desenvolvimento (da concepção ao lançamento), de gerenciamento da informação (recebimento do pedido à entrega), e de transformação física propriamente dita (da matéria prima ao produto acabado).

3. Terceiro Princípio da Produção Enxuta: Organize o fluxo de valor de forma a obter um fluxo fluente.

É necessário fazer com que as etapas que criam valor fluam. Isso exige uma mudança de mentalidade, o produto e suas necessidades devem ser o foco, e não as máquinas e equipamentos. O objetivo é reduzir as atividades que não agregam valor.

4. Quarto Princípio da Produção Enxuta: Estabeleça uma Produção Puxada.

É fazer o que os clientes (interno e externo) precisam no momento certo, permitindo que o produto seja puxado quando necessário. Isso minimiza os estoques comumente encontrados em sistemas do tipo “empurrado”.

5. Quinto Princípio da Produção Enxuta: Busque a Perfeição.

Neste caso, é fazer com que os princípios destacados anteriormente sejam seguidos em um processo contínuo, ininterrupto, de melhoria. Isso se torna possível porque, ao dar condições para que o fluxo de valor flua sempre ocorrerá uma exposição dos desperdícios ocultos abrindo a possibilidade para se realizar novas melhorias.

O principal foco dos idealizadores do sistema *Toyota* de Produção no seu trabalho do dia a dia era a eliminação de desperdícios. Considera-se como desperdício toda atividade que não agrega valor ao produto. Segundo Standard e Davis (1999) atividade que agrega valor (AV) é todo esforço que produz algo de valor aos olhos do cliente. Ex.: estampagem, pintura, etc. Por outro lado, atividade que não agrega valor (NAV) são os esforços que não produzem nenhum benefício aos olhos dos clientes. Ex.: movimentação de peças, retrabalho, contagem, estocagem, etc. Existe também um conjunto de atividades que embora não agreguem valor ao produto são necessárias. Ex.: carregamento de uma máquina, processamento da ordem de produção, etc.

Segundo Conner (2001) a maior parte das atividades realizadas na empresa não agrega valor ao produto. Apenas 5% do tempo total que um produto está sendo processado são constituídos por atividades que realmente agregam valor ao produto. 95% de todo tempo dispensado dentro da fábrica estão relacionados a atividades que não geram nenhum valor ao produto.

A figura 3 apresenta um comparativo entre as atividades que agregam e não agregam valor para um produto com apenas duas operações de transformação.

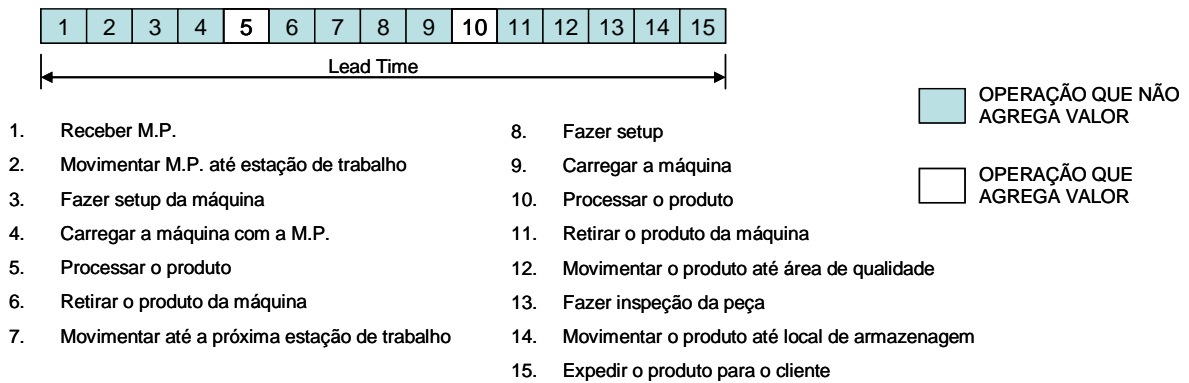


Figura 3 Tempo das atividades que agregam e não agregam valor ao produto

Pode-se destacar da figura 3 que quanto maior o número de operações maior a tendência em aumentar a disparidade entre o tempo de agregação e o tempo de não agregação de valor ao produto.

Com relação aos desperdícios de produção, segundo Womack *ET AL.* (1996) Shingo identificou sete tipos de desperdícios que deveriam ser combatidos para que o Sistema *Toyota* de Produção conseguisse atingir seus objetivos. Estes desperdícios são detalhados a seguir:

1. Primeiro Desperdício: Superprodução

Segundo Shingo (1996) existem dois tipos de superprodução:

- a. Quantitativa: fazer mais produtos do que o necessário.
- b. Antecipada: fazer o produto antes que ele seja necessário.

A superprodução quantitativa gera um aumento no *work in process*, gera um aumento na movimentação de peças, gera a necessidade de armazenamento, além de em muitos casos estar baseada em uma expectativa de demanda que pode não se concretizar.

A superprodução antecipada gera como desperdícios a utilização de matéria-prima em produtos que não são necessários no momento e gera falta de matéria-prima em produtos que estão sendo requisitados com urgência, gera ocupação da mão-de-obra em produtos não necessários no momento, etc.

Segundo Hines *ET AL.* (2000) “superprodução é reconhecido como o mais sério desperdício que atrapalha a implantação de um fluxo suave de produtos e serviços e inibe também a qualidade e a produtividade. A superprodução tende a levar a um *lead time* e estoques elevados”. Entre outras coisas a superprodução corrobora para a camuflagem dos

problemas de produção tornando mais árduo e complexo o processo de melhoria contínua. A figura 4 mostra o acúmulo de excesso de *work in process* devido à superprodução.

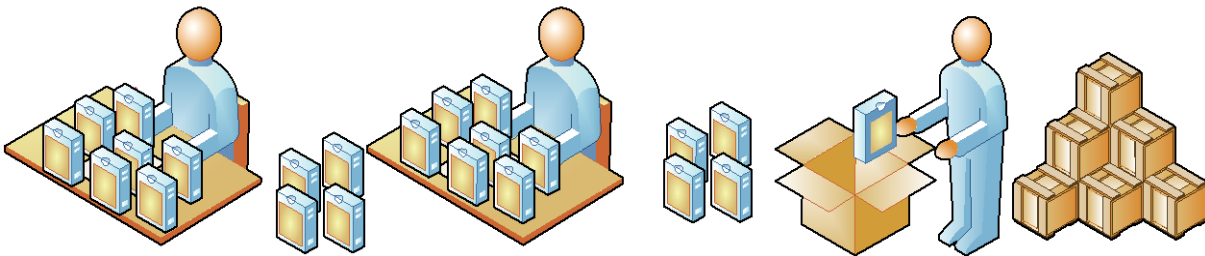


Figura 4 Desperdício de Superprodução

2. Segundo desperdício: Espera

As esperas referem-se a longos períodos de ociosidade de pessoas, peças e informações, resultando em um fluxo pobre, bem como em *lead times* longos. Podem-se ter dois tipos de esperas:

- Esperas de processo: referem-se a lotes não processados aguardando pelo processamento.
- Esperas de lotes: sempre que um lote está sendo processado, com exceção da peça em processamento, todas as outras peças do lote estão aguardando seja antes ou depois do processo. Isso caracteriza uma espera de lote.

3. Terceiro desperdício: Transporte Excessivo

O desperdício de transporte excessivo faz alusão à movimentação excessiva de pessoas, informações ou peças resultando em dispêndio desnecessário de capital, tempo e energia. O transporte excessivo é fruto direto da inadequação do *layout* fabril. A disposição de máquinas e equipamentos impacta diretamente no nível de movimentação interna na fábrica. A figura 5 mostra uma representação esquemática da movimentação de peças e produtos ao longo de uma fábrica.

Como se pode observar, normalmente, não existe um fluxo lógico de fabricação que minimize a movimentação das peças/produtos no chão-de-fábrica. Na maioria das empresas, os equipamentos são agrupados por semelhança o que, em muitos casos, acaba por onerar a distância percorrida por operadores e produtos na fábrica.

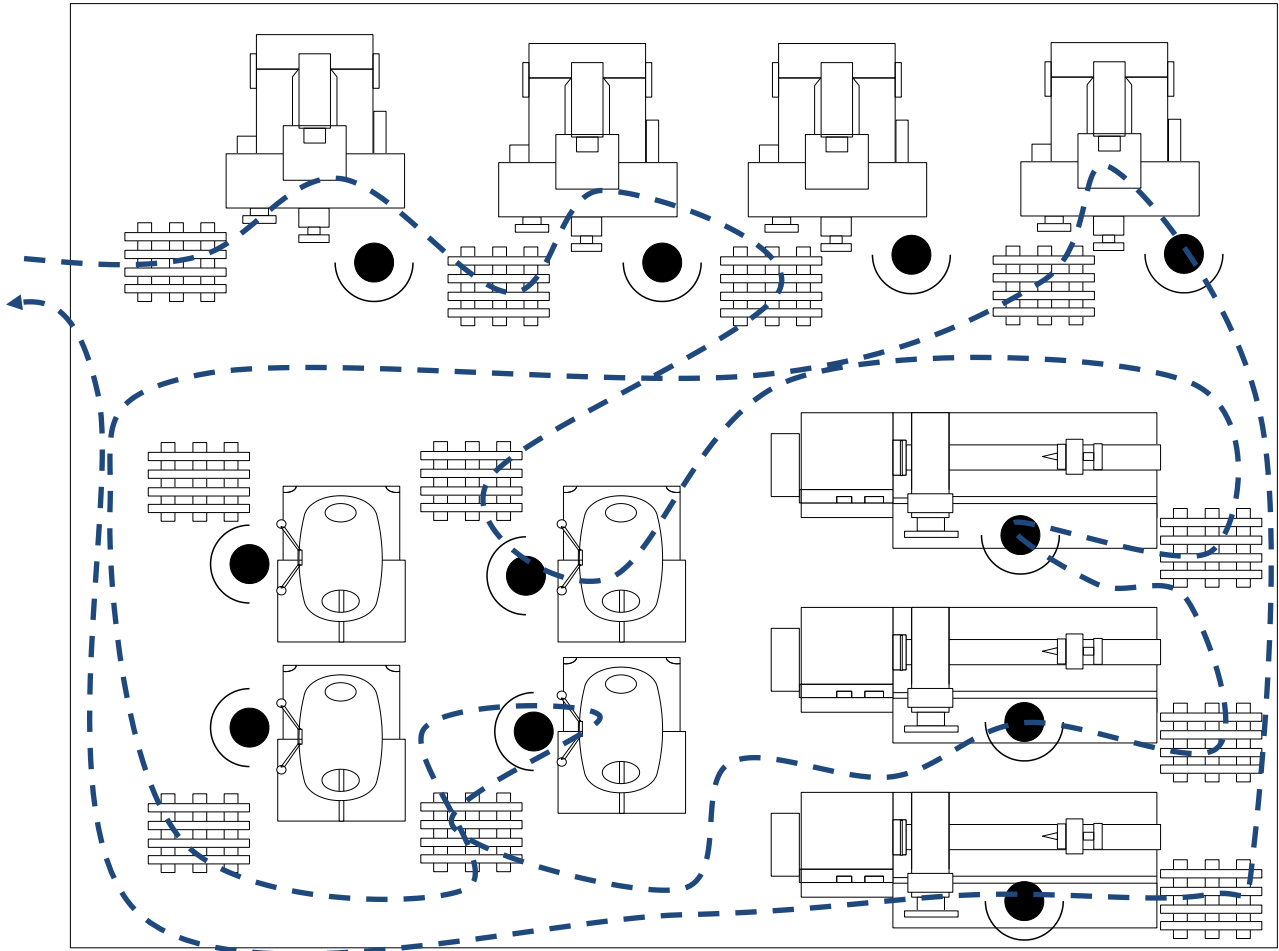


Figura 5 Transporte excessivo ao longo da fábrica

4. Quarto desperdício: Processo Inadequado

Consiste da utilização de procedimentos, sistemas inadequados e, a um nível mais operacional, de um jogo errado de ferramentas. Além disso, para Hines *ET AL.* (2000) processo inadequado ocorre também quando soluções complexas são usadas para procedimentos simples, como a aquisição e utilização de uma máquina muito complexa e não flexível ao invés de várias máquinas simples. Este tipo de desperdício encoraja a superprodução devido, a muitas vezes, à dificuldade em se realizar operações de *setup* em máquinas muito complexas.

5. Quinto desperdício: Estoques

Segundo Corrêa e Corrêa (2004) os estoques, além de ocultarem outros tipos de desperdícios, significam desperdícios de investimento e espaço. A sua redução deve ser feita através da eliminação das causas geradoras da necessidade de se manterem os estoques. Entre algumas dessas causas geradoras pode-se citar a falta de uma adequada programação da produção, *setups* elevados, flutuações na demanda, etc. Particularmente, em relação ao *layout*,

quando equipamentos de produção estão muito distantes existe uma tendência em se produzir em lotes grandes, aumentando os estoques em processo, devido à inviabilidade de se fazer um transporte peça a peça.

Os estoques podem aparecer de três formas bem distintas nas empresas: Matéria-prima, Estoque em Processo e Produto Acabado, ver figura 6.

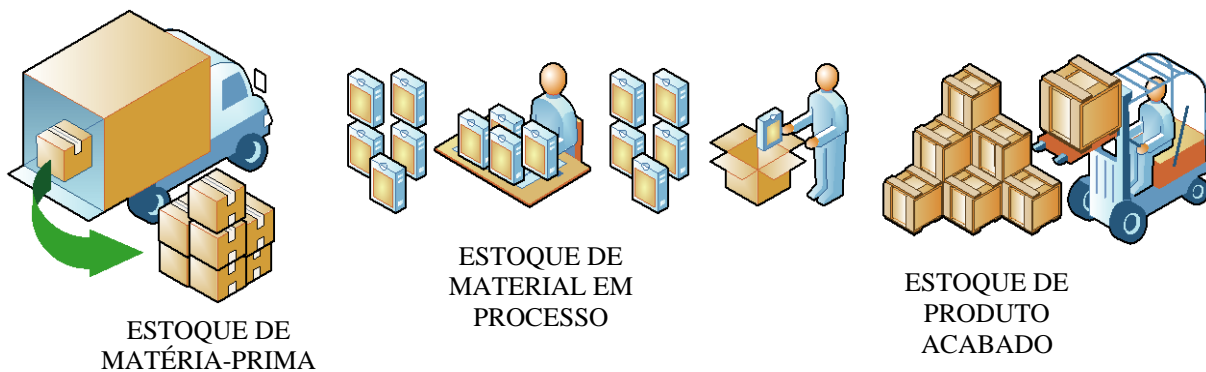


Figura 6 Desperdício de estoques

6. Sexto Desperdício: Movimentação Desnecessária

Origina-se da desorganização do ambiente de trabalho, resultando em baixa performance dos aspectos ergonômicos. O desperdício de movimentação desnecessária reporta-se à inadequação dos postos de trabalho, má localização de ferramentas e dispositivos utilizados pelo operador, que geram a necessidade de realizar movimentos, por parte do operador, muito inadequados. Esse desperdício tem impacto direto na produtividade do operador.

7. Sétimo Desperdício: Produtos defeituosos

Segundo Corrêa e Corrêa (2004) problemas de qualidade geram os maiores desperdícios do processo. Produzir produtos defeituosos significa desperdiçar materiais, disponibilidade de mão-de-obra, disponibilidade de equipamentos, movimentação de materiais defeituosos, etc.

Além dos sete tradicionais desperdícios alguns autores destacam um oitavo desperdício: desperdício de pessoas. Este é apresentado a seguir.

8. Oitavo desperdício: Pessoas

Segundo Alukal (2003) a não utilização do conhecimento e da experiência das pessoas que trabalham em todos os departamentos da empresa é um desperdício. Pelo fato dessas

peças conhecidas em detalhes os processos na empresa estas têm grandes contribuições a fazerem. Mas poucas são as empresas que exploram esse potencial de seus funcionários.

A Produção Enxuta lança mão de um conjunto de ferramentas para combater esses desperdícios. Neste trabalho, será apresentada a análise de *layout* como forma de combater alguns dos desperdícios apresentados

CAPÍTULO 3

3. *LAYOUT*

“A melhor movimentação de material é não movimentar”

(Sims, 2002)

Segundo Muther (1976) o arranjo das áreas de trabalho nasceu com o comércio e o artesanato. Com o desenvolvimento dos sistemas produtivos, maior atenção passou a ser dada à utilização do espaço físico nas organizações.

Com o advento da Revolução Industrial o projeto das instalações físicas passou a ser regido pela energia e a movimentação da matéria-prima. Lee (1998) destaca que as indústrias têxteis exigiam grandes quantidades de água para gerar energia e sua organização era dominada por estranhos eixos e correias. As primeiras indústrias de ferro e aço localizavam-se próximo a rios, ferrovias ou minas; seu projeto era determinado pelas necessidades de transporte de carvão, minério de ferro e calcário.

A evolução tecnológica permitiu que a maioria das indústrias não tivesse mais a necessidade de se localizar próximas aos locais de fonte de energia ou matéria-prima. Além disso, segundo Lee (1998) com o advento da produção em massa o foco passou a ser a otimização do fluxo de produção. A micro divisão do trabalho tornou a habilidade menos importante do que a movimentação eficiente do produto.

Mas, muito embora nos dias atuais os mecanismos de transportes sejam altamente eficientes e as informações fluam de forma rápida pelo chão-de-fábrica o planejamento do *layout* ainda é de fundamental importância. A aproximação de equipamentos eliminando o manuseio excessivo das peças pela fábrica e a possibilidade de formação de equipes multifuncionais são alguns dos benefícios advindos de uma organização física adequada.

3.1 Um breve histórico sobre os modelos de planejamento do *layout*

O primeiro modelo de planejamento do *layout* foi proposto por Muther. Este propôs o Sistema SLP (*Systematic Layout Planning*). O método proposto focava, principalmente, a busca pela otimização do fluxo de materiais.

Chien (2004) destaca que muitas tecnologias como a Teoria da Lógica *Fuzzy* (Cheng e Gen, 1996), Programas Dinâmicos (Rosenblatt, 1986), Algoritmos Genéticos, Simulação Computacional (Azadivar e Wang, 2000), etc. foram desenvolvidas com objetivo de projetar *layouts* eficientes. Mas o modelo desenvolvido por Muther ainda encontra grande aceitação no meio empresarial e acadêmico.

Canem *ET AL.* (1996) destaca em ordem cronológica os principais *softwares* de auxílio ao projeto de *layout*, ver figura 7.

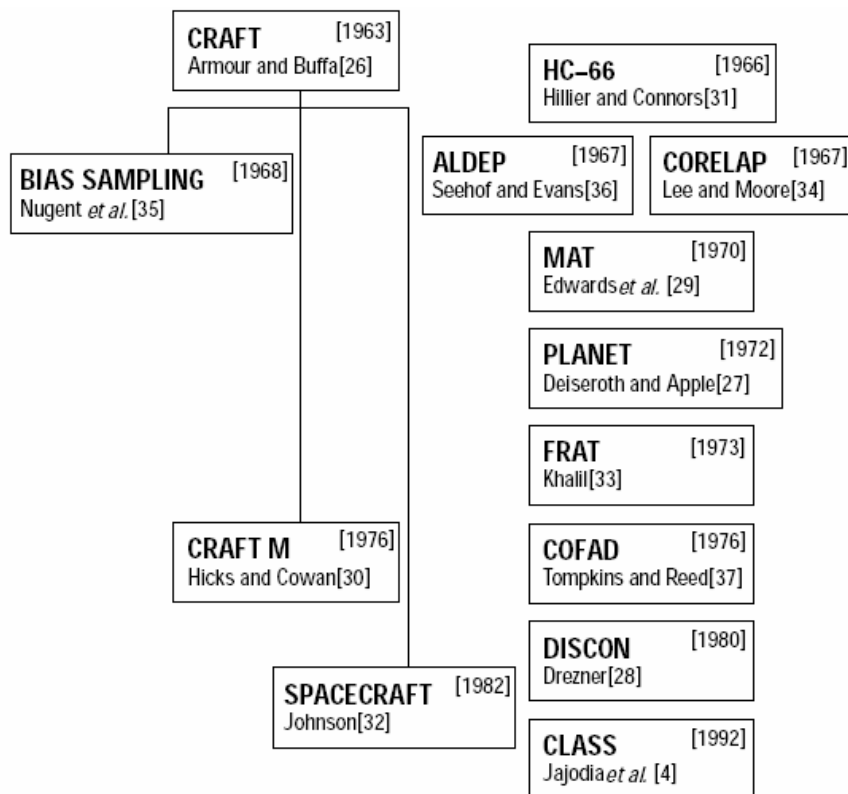


Figura 7 Lista cronológica dos softwares de projeto de *layout*

Fonte: Canem *ET AL.* (1996)

Muito embora os *softwares* computacionais sejam uma ferramenta de auxílio no planejamento do *layout* esses ainda encontram pouca aplicabilidade prática nas empresas, devido a:

- Necessidade de mão-de-obra especializada para manuseá-lo.
- Tempo necessário para aplicá-lo o qual em muitos casos é maior do que a tolerância das empresas.
- Não fornece como resultado a solução ótima.
- Falta de conhecimento das empresas sobre a existência de *softwares* de arranjo físico.

3.2 A importância do *layout* para as empresas

Segundo Black (1998) “mudanças significativas estão ocorrendo no projeto de sistemas de manufatura, motivadas pelas seguintes tendências”:

- O aumento do número e variedade de produtos continuará resultando numa queda de quantidade (tamanho do lote) conforme a variedade aumente.
- Solicitações para menores tolerâncias (mais exatidão e precisão produzindo melhor qualidade) continuarão a aumentar.
- O aumento na variedade de materiais, materiais complexos, com propriedades extremamente diversas causará posterior proliferação no número de processos de fabricação.
- O custo dos materiais, incluindo movimentação de materiais e energia, continuará a ser parte principal do custo total do produto, e a mão-de-obra direta representará apenas 5 a 10% do total e continuará a diminuir.
- A confiabilidade do produto aumentará em resposta ao número excessivo de ações de responsabilidade pelos produtos.
- O tempo entre a concepção do projeto e o produto fabricado será reduzido através dos esforços de engenharia simultânea.
- Mercados globais serão alimentados por produtos globais.

Estas tendências requerem os seguintes tipos de respostas em termos de sistemas de manufatura:

- Melhorias contínuas nos sistemas de manufatura devido às constantes necessidades de melhorias dos produtos.

- O sistema deve ser capaz de produzir produtos com qualidade superior com custo (unitário) reduzido e entrega no prazo em resposta às demandas dos clientes.
- O sistema deve ser projetado para ser flexível e compreensível (mais simples e mais focado), e também mais confiável.

Em resumo, os sistemas de manufatura devem tornar-se cada vez mais ágeis e flexíveis para poderem atender as crescentes expectativas do mercado.

Segundo Gonçalves Filho (2005) um sistema de manufatura eficiente pode ser obtido combinando-se quatro variáveis: tecnologia de fabricação atualizada, um *layout* otimizado, uma mão-de-obra treinada e motivada e um gerenciamento adequado. Essas quatro variáveis não são independentes uma da outra. Por exemplo, é mais fácil alcançar integração entre equipes quando se opta por um *layout* celular do que quando se adota um *layout* funcional.

Em relação à variável *layout* esta é uma das peças chaves no processo de projeto e implantação do Sistema de Produção Enxuta. A disposição física dos equipamentos está relacionada diretamente a três dos oito desperdícios citados anteriormente:

- Transporte Excessivo.
- Movimentação desnecessária.
- Estoques

As decisões de arranjo físico são muito importantes, pois podem refletir diretamente no desempenho da empresa e na satisfação do cliente. Slack *ET AL.* (1999) destaca algumas das razões práticas que tornam as decisões sobre *layouts* importantes:

- Arranjo físico é freqüentemente uma atividade difícil e de longa duração devido às dimensões físicas de recursos de transformação movidos.
- O re-arranjo físico de uma operação existente pode interromper seu funcionamento suave, levando à insatisfação do cliente ou perdas na produção.
- Se o arranjo físico (examinado a *posteriori*) está errado, pode levar a padrões de fluxo excessivamente longos, estoque de materiais, filas de clientes formando-se ao longo da operação, tempos de processamento desnecessariamente longos, operações inflexíveis, fluxos imprevisíveis e altos custos.

Segundo Corrêa e Corrêa (2004) “um bom projeto de arranjo físico pode visar tanto eliminar atividades que não agregam valor como enfatizar atividades que agregam, como”:

- Minimizar os custos de manuseio e movimentação interna de materiais.
- Utilizar o espaço físico disponível de forma eficiente.
- Apoiar o uso eficiente da mão-de-obra, evitando que esta se movimente desnecessariamente.
- Facilitar a comunicação entre as pessoas envolvidas na operação, quando adequado.
- Reduzir tempos de ciclo dentro da operação, garantindo fluxos mais linearizados, sempre possível e coerente com a estratégia.
- Facilitar a entrada, saída e movimentação dos fluxos de pessoas e de materiais.
- Incorporar medidas de qualidade (por exemplo, respeitando distâncias entre setores que produzam produtos que possam ser contaminados um pelo outro) e atender a exigências legais de segurança no trabalho (por exemplo, mantendo isolado setores que possam necessitar de proteção especial do trabalhador).
- Facilitar manutenção dos recursos, garantindo fácil acesso.
- Facilitar acesso visual às operações, quando adequado.

Segundo Black (1998), “neste mundo de competição internacional, o sucesso de uma unidade fabril depende do projeto de seu sistema de manufatura. O sistema fabril deve satisfazer as necessidades de seus usuários, os clientes internos da empresa”.

Neste contexto, o projeto da disposição física dos equipamentos torna-se num fator crítico no desempenho da organização. Existem diversos tipos de *layout*. Cada um desses será abordado na próxima seção. Abaixo segue uma definição de *layout* segundo Gonçalves Filho (2005):

“O arranjo físico de uma unidade produtiva pode ser entendido como a disposição física dos vários elementos ou recursos produtivos utilizados para a produção de um bem ou serviço, tais como máquinas, equipamentos, instalações e pessoal. O arranjo físico define o relacionamento físico entre as diversas atividades e determina a maneira segundo a qual os recursos transformados (materiais, informações e clientes) fluem através da operação”.

3.3 Porque planejar o *layout*?

O projeto do *layout* é uma importante etapa do planejamento do sistema produtivo. Segundo Muther (1976) o tempo despendido no planejamento do arranjo físico antes de sua implantação evita que as perdas assumam grandes proporções e possibilita que todas as modificações se integrem segundo um programa global e coerente, que permite o estabelecimento de uma seqüência lógica para as mudanças, além de facilitá-las.

Canem *ET AL.* (1996) destaca que o planejamento do *layout* é importante, pois esse, normalmente, representa os maiores e mais caros recursos da organização.

Djassemi (2006) afirma que a eficiência da manufatura depende de inúmeros fatores, entre eles o *layout* das máquinas e equipamentos. Segundo o autor, típicos procedimentos de projeto de *layout* buscam alocar os vários equipamentos e departamentos de forma a minimizar o *lead time* de produção, aumentar o giro do *work-in-process* e maximizar a saída de produtos do processo produtivo.

Rawabdeh e Tahboub (2005) destacam que a eficiência do arranjo físico é um dos mais importantes aspectos dos sistemas de manufatura contemporâneos. Isto pode ser justificado porque o planejamento do *layout* é um processo crítico de longo prazo e requer um alto investimento de capital. Além disso, qualquer alteração no *layout* existente representa gastos elevados, desde que os equipamentos não sejam flexíveis e adaptados para a mudança. Conseqüentemente, o arranjo físico torna-se em um importante aspecto industrial, afetando direta ou indiretamente no custo do produto. Os autores também afirmam que o *layout* afeta a produtividade e o desempenho da fábrica, a utilização eficiente da mão-de-obra, o espaço utilizado e mesmo a motivação dos operadores.

Além de impactar nas operações do chão-de-fábrica o *layout* também impacta nas atividades de escritório. Haynes (2008), por exemplo, apresenta os impactos que o arranjo físico do escritório tem sobre o desempenho das pessoas, e conseqüentemente, sobre os resultados da área de trabalho.

A disposição física mais comum e utilizada nas empresas é o *layout* funcional. Mas estudos têm demonstrado que esse arranjo físico trás consigo uma série de limitações ao fluxo produtivo. Portanto, o planejamento do *layout* contemplando aspectos como o fluxo de materiais, estoques em processo, gestão do processo, entre outros, tem impacto direto no desempenho das indústrias.

Um aspecto destacado por Muther (1976) é o custo de implantação do arranjo físico. Segundo o autor os custos de implantação de um bom arranjo ou de um arranjo deficiente podem ser praticamente idênticos. Mas, uma vez implantado um arranjo deficiente, os custos relativos ao rearranjo, interrupção de produção e novos investimentos tornam quase impossível transformá-lo num arranjo eficiente.

Os custos advindos de um fluxo deficiente devido ao mau planejamento do *layout* e os custos de um re-projeto e implantação de um novo *layout* justificam a necessidade do planejamento adequado da disposição física dos equipamentos, pessoas e materiais na fábrica.

Por último, o grande número de trabalhos publicados em relação ao arranjo físico, desde o posto de trabalho à localização das plantas industriais, mostra a importância desse tema. Meller e Gau (1996), por exemplo, listam mais de 90 modelos e algoritmos de projeto de *layout*.

Existem diversas formas de posicionar os recursos físicos no chão-de-fábrica. Cada forma trás consigo vantagens e limitações. A seguir, serão apresentados inicialmente os conceitos tradicionais de *layouts*. Posteriormente, serão apresentadas as novas formas de arranjos físicos.

3.4 Modelos tradicionais de *layouts*

Existem quatro tipos tradicionais de *layouts*: *layout* funcional ou por processo, *layout* em linha ou por produto, *layout* posicional e o *layout* celular. Esses conceitos de *layout* são os mais encontrados nas empresas.

3.4.1 *Layout* funcional (processo)

Também conhecido como *layout* por processo, o *layout* funcional foi a primeira lógica de disposição física de máquinas a surgir. Mesmo com suas limitações o *layout* funcional ainda é amplamente utilizado em empresas de todo o país.

Segundo Black (1998) o *layout* funcional é caracterizado por grandes variedades de componentes e máquinas de uso genérico. As máquinas são agrupadas por função (tornos, fresas, etc.) e as peças são movimentadas pela fábrica para as várias máquinas. A figura 8 apresenta um exemplo de *layout* funcional.

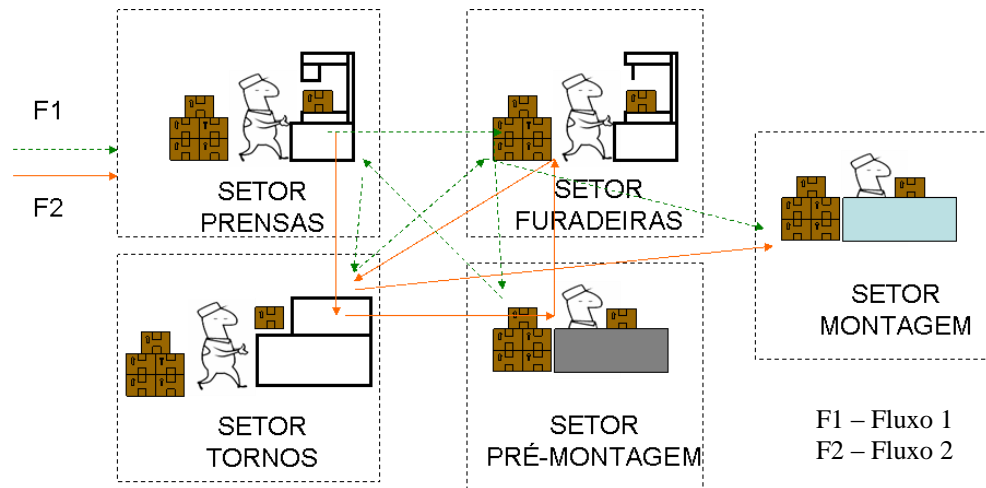


Figura 8 Exemplo de layout funcional

Como mencionado, anteriormente, no *layout* funcional as máquinas são dispostas de acordo com sua função. Segundo Corrêa e Corrêa (2004) este tipo de arranjo físico é utilizado quando os fluxos que passam pelos setores de produção são muito variados e ocorrem intermitentemente.

Tompkins *ET AL.* (1996), Krajewski e Ritzman (1996) e Gonçalves Filho (2005) destacam as seguintes vantagens e desvantagens em relação a essa disposição física dos equipamentos:

1. Vantagens:

1. Aumento da utilização de máquinas.
2. Equipamentos de caráter gerais podem ser utilizados.
3. Menos vulnerável a mudanças de produtos e demanda.
4. Menos vulnerável à quebra de máquinas.

2. Desvantagens:

1. Aumento da movimentação de materiais.
2. Dificuldade em controlar a produção.
3. Aumento do *work in process*.
4. A taxa de produção tende a ser mais baixa
5. A diversidade de rota torna o fluxo de material confuso dificultando a identificação de gargalos.

3.4.2 *Layout* por produto

Segundo Gonçalves Filho (2005) “o arranjo físico por produto é também denominado arranjo físico em linha de produção (linha de produção ou linha de montagem). Nesse arranjo, o material é transportado através de estações de trabalho onde sofre as operações de fabricação ou montagem, criando um fluxo unidirecional. O arranjo físico por produto procura localizar os recursos produtivos segundo a melhor seqüência das operações requeridas pelo recurso que está sendo transformado”.

Para Colmanetti (2001) *apud* Dalmas (2004) algumas das características e vantagens do *layout* por produto são:

- Fluxo suave, simples, lógico e direto.
 - Menor *work in process* do que no *layout* funcional.
 - Utilizado em sistema de produção contínua.
 - Produtos são fabricados em grande quantidade e semelhantes entre si.
 - Exige balanceamento de linha.
 - Equipamentos são dispostos de acordo com a seqüência de operações e equipamentos especiais podem ser utilizados.
 - Tempo total por unidade é baixo.

Segundo Tompkins *ET AL.* (1996) entre as desvantagens do *layout* por produto destacam-se:

- Uma parada de máquina interrompe toda linha de produção.
- Mudanças no projeto do produto podem tornar toda linha de produção obsoleta.
- Normalmente, existe a necessidade em investir em equipamentos de alto valor.
- Baixa utilização dos recursos para produtos de baixo volume.

O *layout* por produto foi popularizado pela linha de montagem criada por Henry Ford. Deve-se ressaltar que alguns dos princípios que nortearam a construção da linha de montagem na *Ford Motor Company* ainda são utilizados na concepção de *layouts* mais modernos. A figura 10 mostra um exemplo de *layout* por produto.



Figura 10 Layout por produto (em linha)

Fonte: <http://images.google.com.br>

Segundo Heilala e Voho (1997), Nevins e Whitney (1989), Chow (1990) um sistema de linha de montagem pode ser classificado como:

- Linha de montagem seqüencial manual.
- Linha de montagem manual paralela.
- Linha de montagem semi-automática.
- Linha de montagem automática flexível.
- Linha de montagem automática dedicada.

Os autores também destacam que caso um produto seja montado em um caminho seqüencial com tempos de ciclos pequenos existe um grande potencial para a automação. A figura 11 a seguir apresenta algumas variações de *layouts* para linhas de montagem.

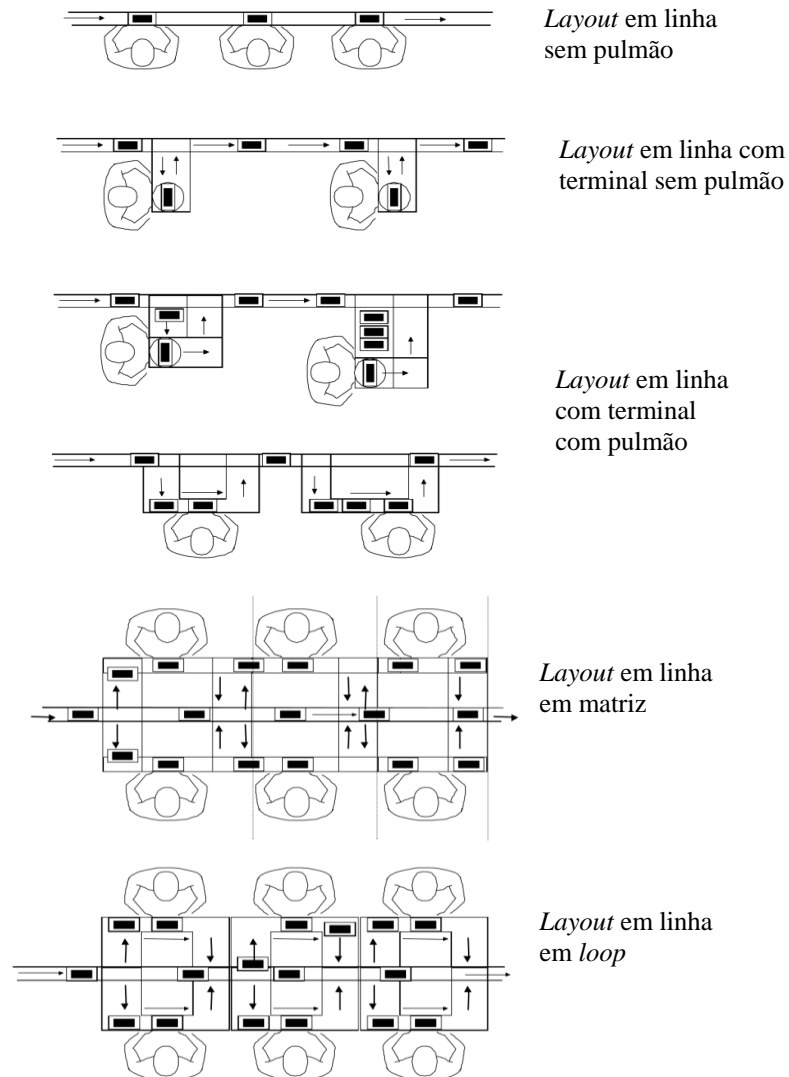


Figura 11 *Variações do layout em linha*

Fonte: Heilala e Voho (1997)

3.4.3 *Layout Posicional*

Segundo Tompkins et.al. (1996), Slack *ET AL.* (1999), Black (1998) entre outros autores o *layout* por posição fixa difere do conceito dos outros *layouts* pois nesses o material é levado até às estações de trabalho, ao passo, que no *layout* posicional as estações de trabalho são movimentadas até os materiais.

Este é um tipo muito particular de *layout* e, normalmente, é utilizado na fabricação de produtos de grande porte ou produtos que permanecerão fixos no local de fabricação. Exemplo: prédios, pontes, navios, aviões, etc.

Com relação à fabricação de aviões pode-se observar que algumas empresas estão migrando do *layout* posicional para o *layout* em linha, como é o caso da Boeing. A empresa tem integrado os conceitos de gestão visual, *takt time* e *layout* para obter melhores resultados. De acordo com um *takt time* previamente definido são delimitados no chão os locais em que o avião em construção deve estar durante as etapas de fabricação. A aeronave é deslocada até as estações de trabalho, e os atrasos de produção podem ser facilmente detectados. Essa integração de conceitos – *layout*, gestão visual, *takt time*, entre outros – é amplamente utilizado em empresas que adotaram o Sistema de Produção Enxuta.

3.4.4 *Layout* Celular

Segundo Al-Mubarak (2003) células de manufatura é a forma de organizar o *layout* do chão-de-fábrica buscando alcançar eficiência e flexibilidade. Célula de manufatura é a filosofia que busca explorar e utilizar a similaridade entre componentes. Os componentes são agrupados em famílias baseados em similaridades de forma, processo de produção ou ambos. As máquinas então são agrupadas em células para fabricar esses componentes.

“Nas células de manufatura as máquinas são agrupadas em células, e as células funcionam de uma forma bastante semelhante a uma linha de produção dentro de uma *job shop* maior ou *layout* por processo. As vantagens que as células podem trazer são” (GAITHER E FRAZIER, 2002):

- Os custos de manuseio de materiais são reduzidos.
- Peças podem ser feitas e embarcadas mais rapidamente.
- É necessário menos estoques de produtos em processo.
- A produção é mais fácil de automatizar.

Ainda segundo os autores, há duas exigências fundamentais para fabricar as peças em células:

- A demanda para as peças deve ser suficientemente elevada e estável, de forma que tamanhos de lotes moderados das peças possam ser fabricados periodicamente.
- As peças que estão sendo analisadas devem ser agrupadas em famílias de peças. Dentro de uma família de peças, as peças devem ter características físicas similares e, dessa forma, elas exigem operações de produção similares.

Muito embora o conceito de célula de manufatura seja bastante simples sua aplicação prática envolve a análise de diversos fatores, como:

- Quantidade de componentes/peças que possa existir no chão-de-fábrica.
- Necessidade de duplicação de máquinas.
- Sistema de gerenciamento da célula.
- Sistema de custeio da célula, etc.

Esses e outros fatores são destacados por Hyer e Wemmerlöv (2002). Além disso, os autores destacam que em virtude da complexidade de se implantar células em, muitos casos, as células de manufatura encontradas nas empresas são falsas células, pois não obedecem a inúmeros princípios que caracterizam uma célula real, como:

- Fluxo unitário e unidirecional de peças.
- Não existência de fluxo intra-células.
- Utilização de trabalhadores multifuncionais.

“Embora a manufatura baseada em células tenha surgido em 1900, sua disseminação ocorreu apenas na década de 90. Alguns estudos mostram que, atualmente, 43% a 53% das empresas dos Estados Unidos e da Grã-Bretanha utilizam células de produção. Em unidades fabris com mais de 100 funcionários essa porcentagem aumenta para 73%” (Hyer e Wemmerlöv, 2002).

A tabela 1 apresenta os ganhos obtidos com a implantação das células de manufatura.

Tabela 1 – Resultados da implantação de células de manufatura (x – informações não disponíveis)

| Medidas de Desempenho | Wemmerlöv e Johnson (1997) - 46 empresas | | | Wemmerlöv e Johnson (1989) - 32 empresas | | |
|---|--|--------------|--------------|--|--------------|--------------|
| | Ganho Médio | Ganho Mínimo | Ganho Máximo | Ganho Médio | Ganho Mínimo | Ganho Máximo |
| Redução da distância e tempo de movimentação | 61,3 | 15 | 99 | 39,3 | 10 | 83 |
| Redução do tempo de passagem | 61,2 | 12,5 | 99,5 | 45,6 | 5 | 90 |
| Redução do tempo de resposta às ordens dos clientes | 50,1 | 0 | 93,2 | x | x | x |
| Redução em wip | 48,2 | 10 | 99,7 | 41,4 | 8 | 80 |
| Redução em tempo de set up | 44,2 | 0 | 96,6 | 32 | 2 | 95 |
| Redução do estoque de produto acabado | 39,3 | 0 | 100 | 29,2 | 10 | 75 |
| Melhoria da qualidade de peças e produtos | 28,4 | 0 | 62,5 | 29,6 | 5 | 90 |
| Redução em custos | 16 | 0 | 60 | x | x | x |

Fonte: Hyer e Wemmerlöv (2002).

3.4.4.1 Vantagens e Desvantagens do *Layout* Celular

Muito embora o *layout* celular seja caracterizado por muitos como a melhor disposição física de máquinas este traz consigo um conjunto de vantagens e desvantagens.

Para Tompkins *ET AL.* (1996) e Black (1998) as principais vantagens do *layout* celular são:

- Redução do tempo de manuseio do material e movimentação.
- Redução do tempo de *setup* de recursos produtivos.
- Redução da variabilidade do tempo de ciclo.
- Fluxo suave de produção.
- Com a maior padronização dos processos o processo de automação das atividades torna-se mais simples.
- Melhor monitoramento, controle, resposta dos estoques e da qualidade dos itens produzidos.
- Criação de um melhor ambiente de trabalho através da utilização de times multifuncionais.

Algumas vantagens adicionais relacionadas ao *layout* celular, na visão de Tompkins et.al. (1996) são:

- Com o aumento do grau de similaridade de processo entre as peças processadas na célula, o tempo de *setup* entre os lotes de fabricação tende a se reduzir e, conseqüentemente, impacta no tamanho dos lotes e nos tempos de esperas.
- Como o trajeto percorrido pelos componentes diminui com o *layout* celular, o tempo perdido entre as operações tende a diminuir. Como conseqüência os estoques intermediários diminuem e o tempo total de fabricação também reduz.
- Com a padronização da família de produtos a variabilidade de atividades realizadas em uma máquina tende a diminuir. Com isso treinar funcionários torna-se mais simples e rápido.
- A utilização de equipes de trabalho tende a tornar o relacionamento entre operários melhor, gerando um melhor ambiente de trabalho.

Muito embora as células tragam consigo essas inúmeras vantagens, além da tradicional desvantagem da duplicação de máquinas, essa também tem como aspecto negativo:

- A inserção de novos produtos na fábrica pode ser complicada, pois as células já possuem um padrão de processo para os produtos/peças que fabrica. Para minimização deste problema, deve existir um relacionamento muito intenso entre a Engenharia de produto e o chão-de-fábrica.
- As células para atingirem sua máxima eficiência necessitam de equipes multifuncionais. Portanto, em um primeiro momento, todos os operadores precisam passar por um processo de treinamento o que pode implicar em tempo e custos.

3.4.4.2 Pontos de observação quanto às células.

Segundo Rentes *ET AL.* (2006) existem diversas formas de *layout* celular. O mais tradicional é o *layout* em U. A figura 12 apresenta algumas dessas variações de disposição física de equipamentos do *layout* celular.

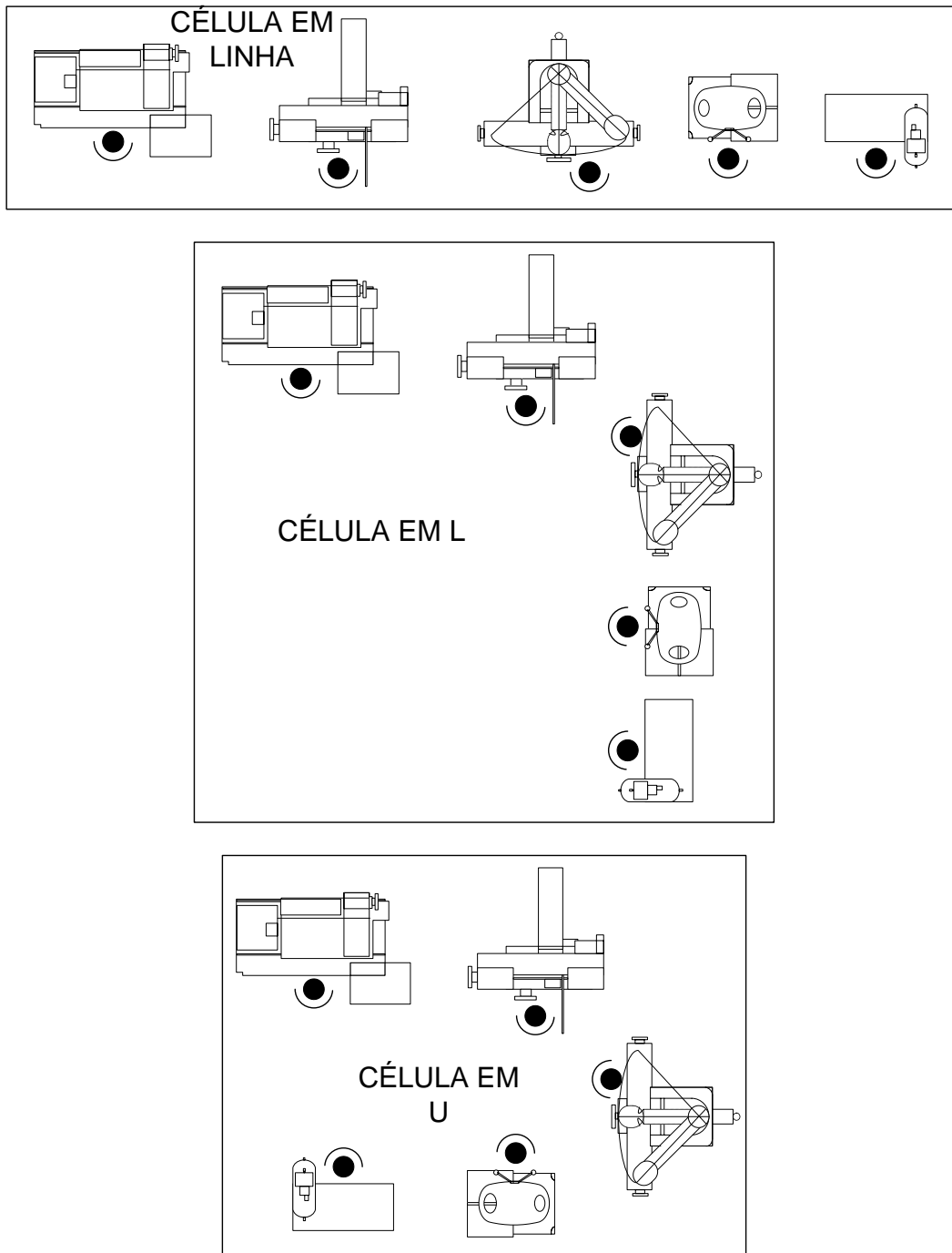


Figura 12 Variações do layout celular

Um outro ponto a se destacar é a questão da utilização de trabalhadores multifuncionais em células. Trabalhadores multifuncionais são um dos requisitos para o completo funcionamento de uma célula de manufatura. A preparação dos operadores torna-se, portanto, em um ponto chave do processo de implementação de um *layout* celular.

Além dos trabalhadores conseguirem desempenhar funções de processamento diferentes é necessário que estes também tenham uma visão gerencial da célula. Algumas

empresas utilizam o conceito de times auto-gerenciáveis. Ou seja, o próprio grupo de trabalhadores da célula, gerencia as suas próprias atividades.

O desenvolvimento de trabalhadores multifuncionais é importante porque em uma célula de manufatura estes devem estar aptos para realizar as seguintes atividades, além da operação dos equipamentos:

- Verificação da qualidade das peças/produtos fabricados.
- Em alguns casos, reorganização do *layout* da célula quando itens diferentes forem fabricados.
- Acompanhamento da quantidade de material em processo na célula.
- Melhoria contínua da célula: redução dos tempos de *setup*, melhoria do processo, etc.

Por último, outro ponto importante em relação às células é a forma de gerenciamento dessas. Um conceito muito utilizado no gerenciamento das células é o conceito de gerenciamento visual. Através de quadros de programação e acompanhamento da produção, quadros de treinamento dos operadores, etc. as atividades e o desempenho das células podem ser geridos de forma fácil e eficiente.

Silva e Cardoza (2005) apresentam alguns exemplos de quadros de gestão visual que podem ser utilizados nas células. A figura 13 mostra um quadro de gestão do nível de treinamento da mão-de-obra da célula.

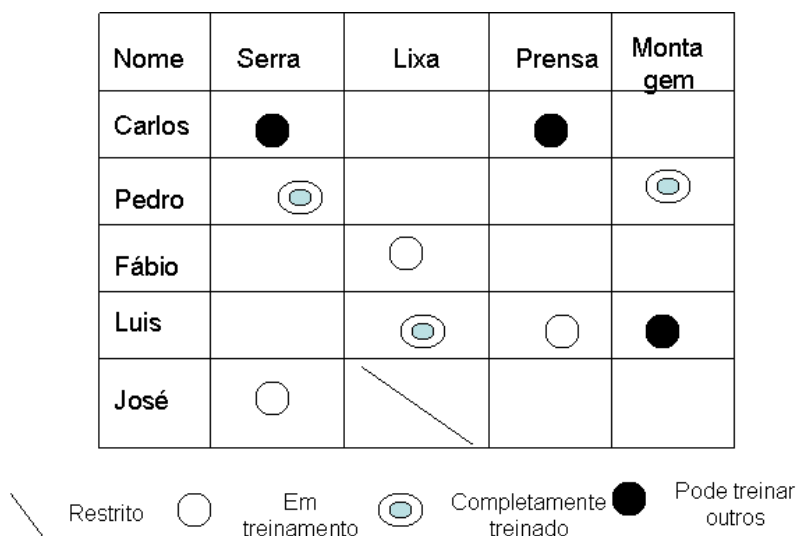


Figura 13 Matriz de treinamento

Fonte: Feld (2001)

3.5 Os novos conceitos de *layout*

Alguns autores como Irani e Huang (1998), Venkatadri *ET AL.* (1997), Silva e Rentes (2002) apresentam alguns conceitos novos de *layout*, como o *layout* fractal, as mini-fábricas de produção, etc. Alguns desses *layouts* já foram aplicados em empresas ao passo que outros ainda estão restritos à pesquisa e análise.

3.5.1 *Layout* Modular/

Segundo Gonçalves Filho (2005) um módulo de um arranjo físico modular é definido como um pequeno grupo de máquinas que tem as características e um padrão de fluxo de um tipo específico de arranjo físico. Este deve ser utilizado quando não é viável a construção de células. Irani e Huang (1998) definem as seguintes variações de módulos para esse *layout*:

Módulo célula: tem o mesmo princípio das células de manufatura. O módulo é formado por um conjunto de máquinas capazes de processar completamente uma família de peças. Ver figura 14.

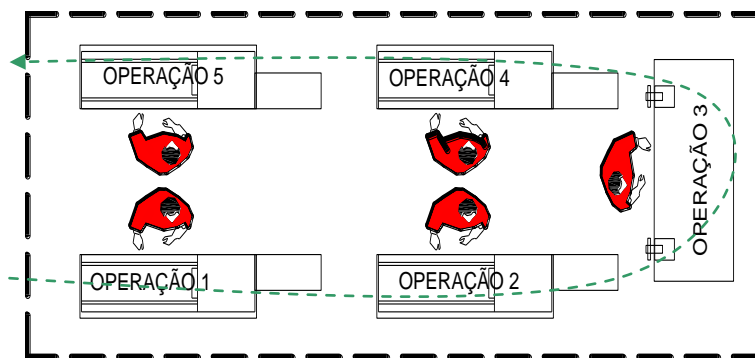


Figura 14 *Layout* modular: Módulo célula

Módulo centro de usinagem: o módulo possui uma única máquina capaz de realizar inúmeras operações diferentes. A máquina possui também um alto grau de automação. A vantagem presente nesse *layout* em relação ao módulo célula é que neste *layout* uma família de peças pode ser processada sem qualquer movimentação. Ver figura 15.

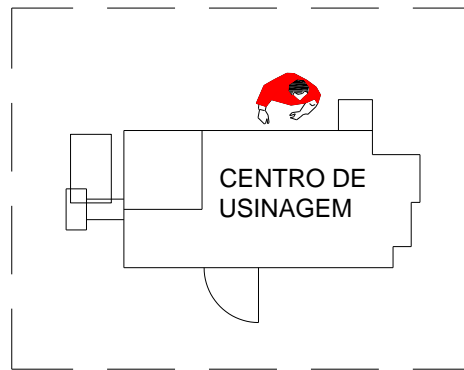


Figura 15 Layout Modular: Módulo centro de usinagem

Módulo fluxo em linha (flowline): é um arranjo físico com as máquinas posicionadas em linha onde as peças são movimentadas em uma única direção. Este *layout* difere da linha tradicional no sentido em que algumas peças da família podem não necessariamente sofrerem operação em todas as estações de trabalho. Ver figura 16.

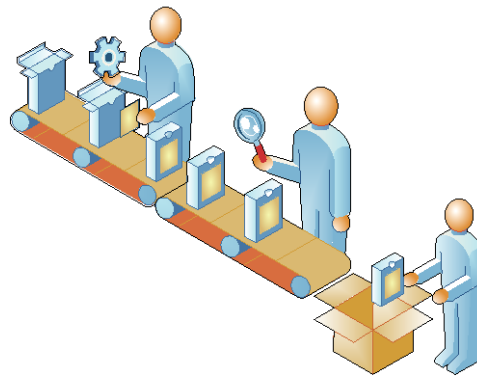


Figura 16 Layout Modular: Módulo fluxo em linha

Módulo fluxo em linha ramificado (convergente ou divergente): este arranjo físico difere do fluxo em linha no sentido em que existem um conjunto de peças da família que tem atividades de processo em comum e um conjunto de peças com atividades específicas. À medida que as peças se movimentam ao longo da linha, em determinado ponto essas tomam caminhos diferentes e depois retornam à linha. Ver figura 17.

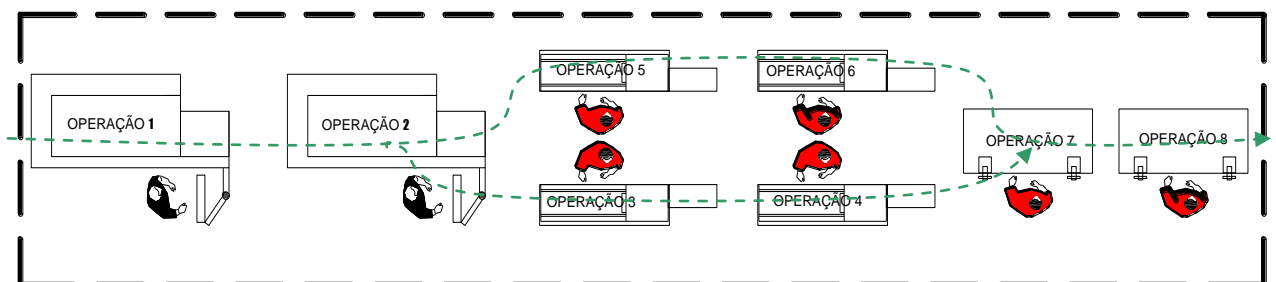


Figura 17 Layout Modular: Módulo fluxo em linha ramificado

Módulo funcional: o módulo funcional tem a mesma definição do layout funcional. Não existe dentro do módulo nenhum padrão de fluxo. Ver figura 18.

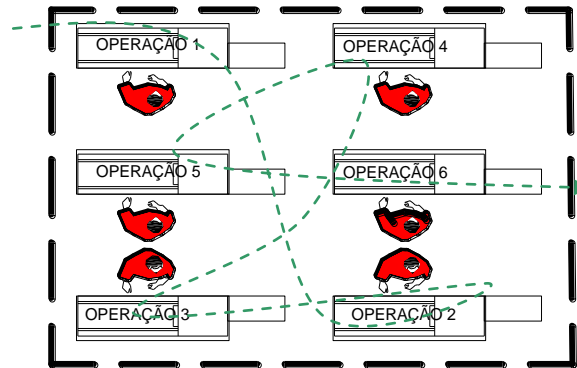


Figura 18 *Layout modular: Módulo Funcional*

Segundo Gonçalves Filho (2005) a idéia central do *layout* modular é que as máquinas sejam agrupadas segundo os tipos de módulos citados e dispostos no chão-de-fábrica de modo que o fluxo através dos módulos ocorra em um único sentido.

3.5.2 *Layout* Mini-fábricas

Para Silva e Rentes (2002) mini-fábricas de produção é a organização do *layout* do setor de manufatura em ilhas de produção. Neste caso, os equipamentos de produção são separados de forma a dividir a fábrica em áreas de processamento de produtos específicos, ou seja, a fábrica é seccionada em setores onde cada um produz parte dos produtos pertencentes ao rol de produtos da empresa.

Este conceito é bastante similar ao de células e ao do *layout* fractal embora tenha suas particularidades. Algumas das diferenças entre células e mini-fábricas, *layout* fractal e mini-fábricas são:

- No *layout* fractal, em cada célula ou ilha de trabalho, existe os mesmos tipos de máquinas. Na mini-fábrica as ilhas ou células são compostas de equipamentos diferentes.
- No *layout* celular existe um fluxo unidirecional de processamento. Na mini-fábrica o fluxo pode não ser unidirecional e nem tão bem definido quanto na célula.
- Nas mini-fábricas a variedade processada de itens é muito superior ao da célula.

A utilização das mini-fábricas é indicada para ambientes *job shop* onde o número de produtos/peças processadas é muito grande e inviabiliza o uso de células de produção e do

layout fractal, principalmente, pela necessidade de duplicação de máquinas. Essa duplicação pode representar, em muitos casos, custos muito elevados para a organização. Quando se trabalha com o conceito de mini-fábricas de produção problemas como duplicação de máquinas são minimizados porque, por exemplo, não existe uma dedicação tão exclusiva para uma linha de produtos como no ambiente celular. A figura 19 mostra um exemplo de mini-fábrica.

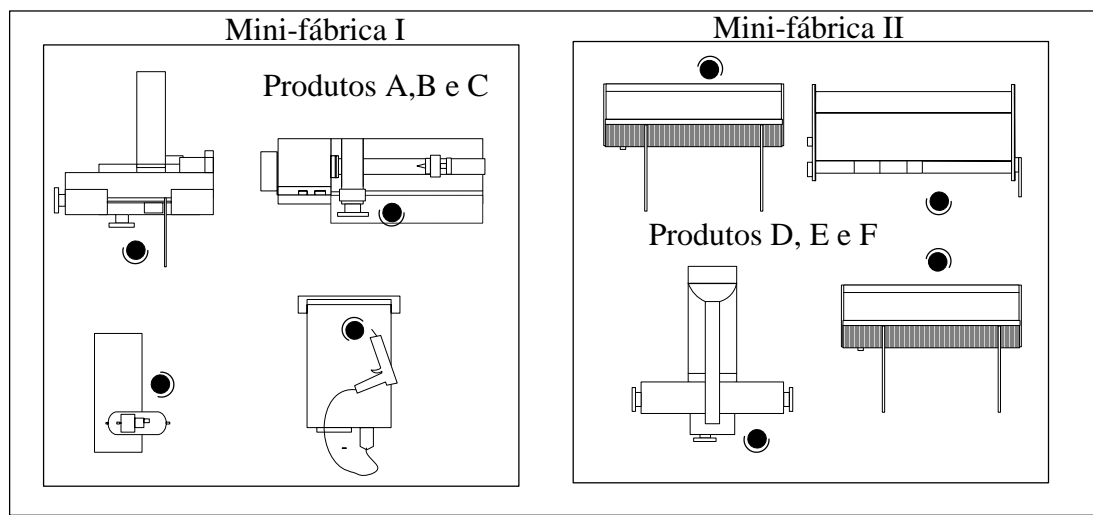


Figura 19 Exemplo de célula e mini-fábrica de produção

A figura 20 apresenta um exemplo de aplicação prática de *layout* de mini-fábricas. As letras A, B, C e D indicam as mini-fábricas existentes. Em cada uma das mini-fábricas são produzidas famílias de componentes para equipamentos eletrônicos. Essas famílias foram definidas em função da similaridade de processo entre os componentes.

Dentro da mini-fábrica o fluxo das peças é multidirecional. A vantagem desse conceito de arranjo físico consiste na redução dos estoques em comparação a outros modelos de *layout*, a gestão unificada de itens semelhantes e a redução de movimentação devido à aproximação de recursos.

3.5.3 *Layout* Holográfico

Segundo Montreuil *ET AL.* (1993) no arranjo físico holográfico as máquinas são distribuídas com certa aleatoriedade pelo chão-de-fábrica. Neste tipo de *layout*, os equipamentos não duplicados são posicionados no centro do *layout* ao passo que as demais estações de trabalho são distribuídas ao longo do chão-de-fábrica.

3.5.4 *Layout* Fractal

Segundo Venkatadri *ET AL.* (1997) o *layout* fractal foi, originalmente, concebido como alternativa para obter uma manufatura ágil através da criação de mini-fábricas multifunções dentro da empresa.

A unidade básica de formação do *layout* fractal é a célula fractal, um conjunto de máquinas colocadas próximas umas das outras no chão-de-fábrica e capazes de processar a maioria, senão todos os produtos que entram no sistema de fabricação. Cada tipo de máquina na célula fractal é aproximadamente igual à proporção daquele tipo de máquina na fábrica.

Segundo Gonçalves Filho (2005) não é suposto que as células fractais sejam independentes, ou seja, que cada uma delas seja capaz de processar inteiramente um conjunto de peças. Pode ser necessário que a peça passe por duas ou mais células fractais para estar completa. Com isso, determinadas máquinas e equipamentos serão utilizados por mais de uma célula fractal. Isto deve ocorrer, principalmente, quando máquinas caras, em número reduzido são utilizadas por um grande número de peças. A figura 21 mostra um exemplo de *layout* fractal.

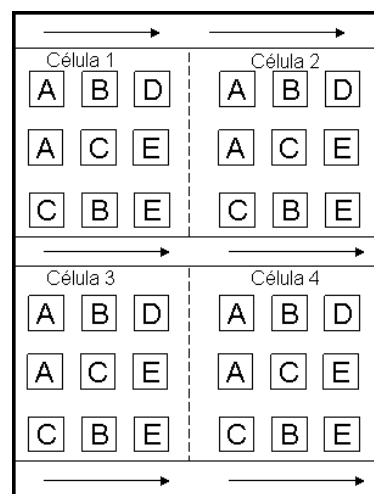


Figura 21 Exemplo esquemático de *layout* fractal

Fonte: Montreuil *ET AL.* (1999)

Venkatadri *ET AL.* (1997) apresenta um estudo comparativo entre alguns tipos de *layout*. Neste estudo os autores fazem uma comparação entre o *layout* celular, o *layout* funcional e o holográfico. Ver tabela 2 a seguir.

Tabela 2 Análise comparativa entre tipos diferentes de *layout* para sete estudos de casos

| Caso | Critérios de Avaliação | Tipos de layouts | | | | | | |
|------|------------------------|------------------|---------|-------------|---------|------|------|------|
| | | Funcional | Celular | Holográfico | Fractal | | | |
| | | | | | A | B | C | D |
| 1 | Número de máquinas | 29 | 46 | 29 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| | Movimentação das peças | 6508 | 3159 | 3580 | 2876 | 3389 | 3557 | 3582 |
| 2 | Número de máquinas | 30 | 44 | 30 | 32 | 32 | 32 | |
| | Movimentação das peças | 347 | 128 | 153 | 133 | 163 | 165 | 175 |
| 3 | Número de máquinas | 20 | 29 | 20 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| | Movimentação das peças | 198 | 175 | 160 | 116 | 137 | 143 | 147 |
| 4 | Número de máquinas | 13 | 17 | 13 | 14 | 14 | 14 | 14 |
| | Movimentação das peças | 2548 | 1484 | 2088 | 1590 | 1734 | 1916 | 1785 |
| 5 | Número de máquinas | 16 | 20 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| | Movimentação das peças | 384 | 200 | 219 | 198 | 216 | 221 | 230 |
| 6 | Número de máquinas | 26 | 36 | 26 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| | Movimentação das peças | 1653 | 567 | 751 | 550 | 667 | 678 | 722 |
| 7 | Número de máquinas | 44 | 56 | 44 | 44 | 44 | 44 | 44 |
| | Movimentação das peças | 5010 | 2054 | 2880 | 1936 | 2239 | 2247 | 2437 |

Fonte: Venkatadri *ET AL.* 1997

Deve-se apenas ressaltar que os autores levaram em consideração apenas dois critérios para se analisar o *layout*, o número de máquinas e a movimentação de peças. Mais à frente será realizada uma análise envolvendo todos os modelos de *layouts* e contemplando outros critérios não abordados pelos autores.

3.5.5 *Layout* Reconfigurável

Com a redução ou mesmo quebra das barreiras alfandegárias e com a maior eficiência dos sistemas de transporte entre países o mercado consumidor se tornou um ambiente dinâmico, o qual exige que os sistemas de produção tenham uma alta flexibilidade para atender às constantes mudanças na demanda.

Segundo Mehrabi *ET AL.* (2002) as empresas atualmente necessitam produzir em um ambiente com mudanças inesperadas e abruptas na produção. Muitos fatores contribuem simultaneamente para as mudanças no mercado, incluindo a globalização da economia, mercado saturado e rápidos avanços nos processos tecnológicos. O resultado é a fragmentação do mercado (tamanho e tempo), e um curto tempo de vida dos produtos. Entretanto, produtos de alta qualidade e baixo custo tornam-se necessários e o tempo de resposta às mudanças do mercado torna-se uma vantagem competitiva. Para se tornar competitivo neste ambiente

turbulento são necessárias estratégias adequadas de negócios e tecnologias de manufatura apropriadas.

Alguns autores como Ishii *ET AL.* (1995), Stake, (1999) e o *National Research Council* (NRC 1998, 2000) destacam que o mercado atual exige que o sistema de manufatura atenda a alguns pré-requisitos, entre eles pode-se destacar:

- (a) *Lead times* curtos.
- (b) Maior opção de produtos.
- (c) Produção em volumes baixos e alterações constantes na produção.
- (d) Preços baixos.
- (e) Qualidade, durabilidade, etc.

Portanto, os sistemas de produção necessitam ter uma alta flexibilidade para corresponder às expectativas do mercado. Segundo Heilala, *ET AL.* (2001) a flexibilidade é necessária em sistemas de produção porque o ciclo de vida dos produtos está tornando-se menor, os lotes de produção necessitam ser menores, entre outras variáveis. Existem diferentes tipos de flexibilidade: Flexibilidade de capacidade e flexibilidade de habilidade (Tichem, 2000). A flexibilidade de habilidade refere-se à habilidade do sistema reagir a mudanças na demanda do mercado em termos de variações nos produtos. A flexibilidade de capacidade refere-se à capacidade da empresa em reagir a mudanças nas quantidades solicitadas.

Mais recentemente, Koren e Ulsoy (1997), Mehrabi e Ulsoy (1997) e Koren *ET AL.* (1999) introduziram o conceito de sistema de manufatura reconfigurável (RMS) como resposta às mudanças que estão ocorrendo no mercado. Em termos de *design*, o RMS tem uma estrutura modular (*software e hardware*) a qual permite uma rápida reconfiguração para atender as mudanças na demanda. Segundo Bollinger e Rusnak (1998) e o *National Research Council Report* (NRC, 1998) equipamentos modulares permitem que o sistema RMS tenha a capacidade de alterar rapidamente sua configuração permitindo, por exemplo, a entrada de novas tecnologias no sistema de produção.

O sistema RMS começa a surgir como um novo paradigma. A reconfiguração do sistema produtivo de acordo com mudanças no *mix* ou no volume de produção começa a tornar-se possível graças ao desenvolvimento de equipamentos modulares e de fácil transporte. Mas, muitas dúvidas ainda pairam sobre a aplicabilidade deste novo conceito.

Segundo Bi *ET AL.* (2007) não existe ainda uma definição clara sobre o sistema RMS. Por exemplo, na Terceira Conferência sobre Manufatura Reconfigurável ocorrida em maio de

2005 na Universidade de Michigan, os participantes tinham visões diferentes sobre a definição do RMS. Alguns insistiam que o RMS é um paradigma intermediário entre a Produção em Massa e o Sistema de manufatura Flexível (FMS). Alguns argumentaram que o RMS é um paradigma avançado no qual a flexibilidade necessita ser maior do que a do FMS. E, finalmente, alguns que não existe distinção entre o FMS e o RMS.

Mas, embora não exista ainda um consenso sobre a definição do sistema RMS para alguns está claro que este é um novo conceito embrionário o qual deve ser explorado. Segundo *National Research Council Report* (NRC, 1999) o RMS foi identificado como a tecnologia prioritária para as empresas no futuro, e um dos seis grandes desafios onde a pesquisa necessita ser focada.

Neste trabalho, será adotada a definição de Mehrabi *ET AL.* (2002) para RMS:

“Sistema de manufatura reconfigurável (RMS) é um sistema de produção que permite a reconfiguração de equipamento, do processo de produção, da capacidade de produção, com objetivo de atender a mudanças na demanda”.

Basto (2000) destaca que a idéia do *layout* reconfigurável envolve utilizar máquinas que podem ser movidas de um *layout* por processo para um *layout* por produto (ou vice-versa) permitindo dessa forma a configuração do sistema de manufatura para produtos individuais.

Segundo Mehrabi *ET AL.* (2002) o objetivo do RMS é fornecer a funcionalidade e capacidade que são necessárias, exatamente quando solicitadas. O RMS permite:

- Redução do *lead time* de implantação de novos sistemas de produção ou da reconfiguração do sistema existente.
- Rápida modificação e integração de novas tecnologias e ou novas funções dentro de um sistema de produção já existente.

Koren e Ulsoy (1997), Bollinger e Rusnak (1998), Mehrabi e Usloy (1997) e Mehrabi (2000) apresentam mais características e definições do sistema RMS. Em essência, um sistema de manufatura reconfigurável objetiva ser instalado com a exata capacidade de produção necessária e poder ser alterado quando necessário.

A figura 22 a seguir apresenta um exemplo esquemático de um sistema RMS. No exemplo, para produzir os produtos A, B e C são utilizados na seqüência os equipamentos: Solda, Furadeira, Fresa e Torno CNC. O *layout* utilizado é a célula em U. Na fabricação dos produtos D, E, F existe um setup de máquinas com a mudança do *layout* de U para uma célula em L. Os equipamentos utilizados passaram a ser: Solda, Furadeira, Solda e Fresa.

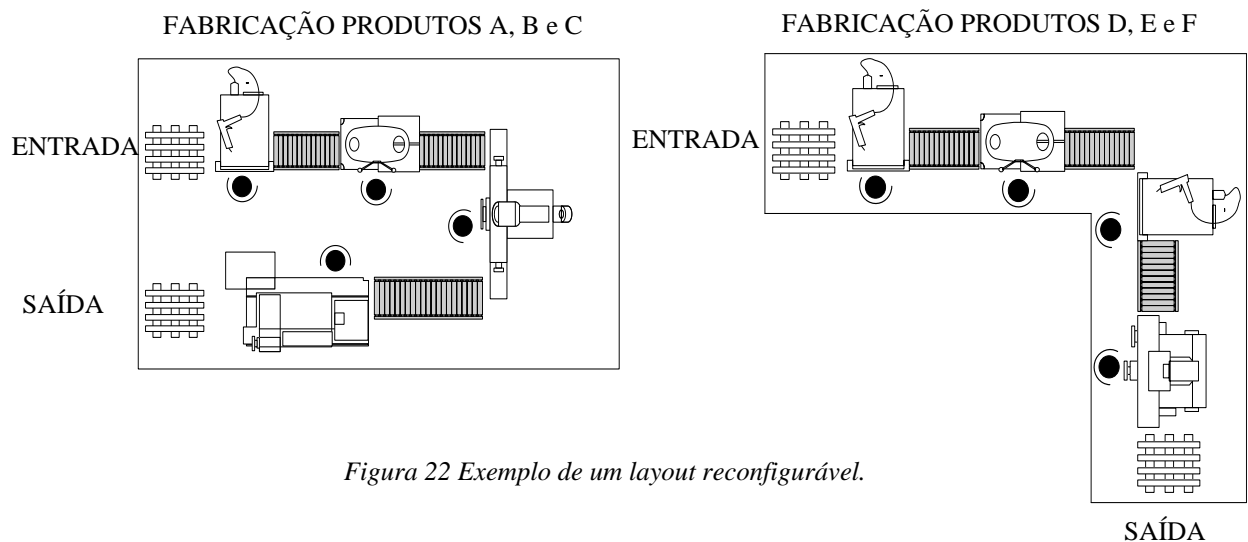


Figura 22 Exemplo de um layout reconfigurável.

Como mencionado, anteriormente, o *layout* reconfigurável ainda tem pouca aplicação prática nas empresas. Entre os fatores que limitam o seu uso pode-se destacar:

- Necessidade de equipamentos especiais: quando no uso desse *layout* os equipamentos devem ser projetados ou readaptados para se tornarem de fácil locomoção. A adaptação de rodas, de sistemas de engate rápido para pontos de ar e óleo são algumas das características que os equipamentos devem possuir para que o setup do *layout* seja rápido.
- Custo: a compra de equipamentos personalizados ou a readaptação de equipamentos pode incorrer em custos bastantes elevados. E por se tratar de um *layout* que se encontra implantado em poucas empresas raro são os empreendedores que se arriscam a arcar com esses custos.
- Dimensões dos equipamentos: embora na figura 30 tenham sido colocados equipamentos como tornos e fresas, normalmente, devido ao grande porte desses equipamentos não é possível ficar realocando-os de acordo com mudanças nos produtos. Portanto, esse modelo de *layout* torna-se mais viável para situações que utilizam equipamentos de pequeno porte e processos de montagem que utilizam basicamente bancadas.

Tendo por base essas restrições, o sistema RMS pode ser utilizado, de forma relativamente fácil, em processos de montagem onde se utiliza apenas bancadas e equipamentos de pequeno porte. Processos produtivos também como da indústria de calçados e roupas, pelas características de equipamentos utilizados, podem utilizar este tipo de *layout*.

A figura 23 a seguir apresenta um exemplo de uma fábrica de válvulas de descargas, localizada na cidade de Aveiro/Portugal, que está migrando do *layout* em linha tradicional

para o *layout* reconfigurável. A todos os equipamentos produtivos estão sendo adaptadas rodas para facilitar a locomoção desses. Também, estão sendo projetados sistemas de encaixe e desencaixe rápido para agilizar o *setup* das células.

O abastecimento das células reconfiguráveis que estão sendo criadas é feito através de carrinhos demonstrados na figura 23. Esses carrinhos, também estão adaptados a promoverem o FIFO no abastecimento das células.

Deve-se destacar também que os novos postos de trabalhos nas células estão sendo projetados para que os operadores trabalhem em pé. Na visão dos gerentes de fábrica, dessa forma as pessoas desempenham de forma mais rápida as operações.

Layout Antes



Layout Reconfigurável



Sistema de Troca Rápida e Carrinhos de Abastecimento



Figura 23 Exemplo de aplicação do sistema RMS

No exemplo demonstrado, está sendo utilizado o *layout* em L em virtude do produto fabricado no momento da fotografia. O *layout* pode ser alterado de L para U, ou simplesmente os equipamentos podem ser alterados em função do próximo produto a ser fabricado sem alterar a forma do *layout* utilizado L ou U.

Rentes *ET AL.* (2006) apresenta um exemplo de aplicação prática do conceito de *layout* reconfigurável em uma empresa do setor calçadista. Os autores destacam que além da mudança do posicionamento das máquinas há também uma alteração na quantidade de postos de trabalho podendo ser alterado de 30 postos para 38 conforme o produto a ser fabricado. A figura 24 apresenta exemplos de configurações de *layouts* para tipos de produtos diferentes. Neste exemplo existe tanto uma mudança de posicionamento de máquinas quanto do número de postos de trabalho.

Portanto, em resumo, o sistema RMS tem como grande vantagem a flexibilidade para atender às constantes variações que ocorrem na demanda. Mas, este conceito de *layout* apresenta algumas limitações como custo, dificuldade de movimentação de equipamentos de grande porte, dificuldade em se delimitar pontos de instalação de ar, energia, entre outros fatores.

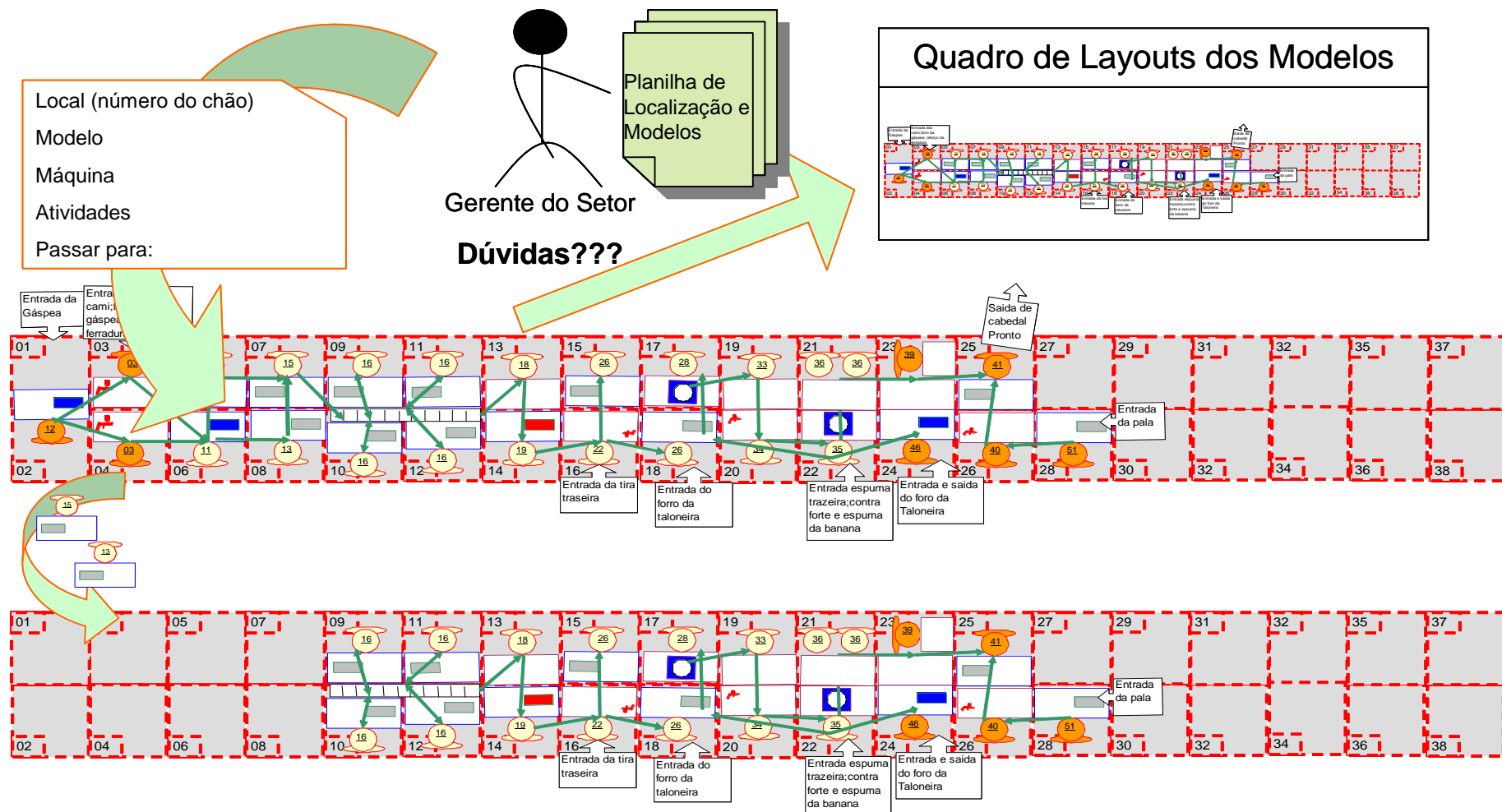


Figura 24 Exemplo de configurações de layout para produtos diferentes

Fonte: Rentés ET AL. (2006)

3.5.6 Células Virtuais

Segundo Rheault, *ET AL.* (1995) o conceito de células virtuais de manufatura foi proposto inicialmente por Mclean e Simpson (1982).

Vakharia, *ET AL.* (1999) define células virtuais como sendo um conjunto de máquinas específicas dedicadas a um grupo pré-determinado de peças. Diferentemente, do *layout* celular os equipamentos de processamento não estão alojados próximos, mas fisicamente posicionados ao longo do chão-de-fábrica.

Os layouts apresentados possuem características próprias que os aproximam ou distanciam dos conceitos de Produção Enxuta. A seguir, será realizada uma análise desses arranjos físicos em relação à Produção Enxuta.

3.6 Análise dos modelos de *layout* sob a ótica da Produção Enxuta

Todos os modelos de *layouts* apresentados possuem características próprias que os aproximam ou distanciam do modelo de Produção Enxuta. Para análise dos *layouts* foram definidos alguns critérios. Estes critérios são:

- Movimentação: como apresentado anteriormente, a movimentação e transporte excessivo são dois dos desperdícios a serem eliminados sob a ótica da Produção Enxuta. Portanto, o *layout* físico das máquinas deve possibilitar que a movimentação de materiais e produtos seja a menor possível dentro da fábrica.
- Fluxo Contínuo: Rother e Harris (2002) destacam que o fluxo contínuo é o principal objetivo da Produção Enxuta. Um fluxo contínuo e unitário de peças depende, entre outros aspectos, da proximidade dos equipamentos produtivos. Portanto, o *layout* deve ser planejado em função desse objetivo, permitindo que as peças e produtos fluam de forma suave e contínua entre as estações de trabalho.
- Gestão Visual: Ciosaki (1999) destaca que o gerenciamento visual da produção são todos os mecanismos utilizados para tornar visível ou aparente os fatores relevantes para uma adequada administração da produção no nível operacional. A gestão visual tem sua importância fundamentada no auxílio ao gerenciamento das atividades no chão-de-fábrica. Yoshimura *ET AL.* (2006) destaca que um *layout* eficiente deve permitir que o gerente de produção consiga ter uma visão clara dos operadores e do sistema produtivo quando este caminhar pela fábrica. O *layout*

deve permitir que seja possível a visualização, senão do todo, ao menos das etapas completas de um determinado processo.

- Flexibilidade: sazonalidade e demanda por produtos personalizados são alguns dos fatores que impulsionam as empresas em busca de flexibilidade. Nesse sentido, o *layout* deve possibilitar à empresa alterar de forma rápida e eficiente seu *mix* de produto e o volume de produção permitindo assim o atendimento às flutuações na demanda.
- Estoques: o estoque em processo é um das principais fontes de desperdício. Portanto, o arranjo físico dos equipamentos deve minimizar a distância física entre as máquinas buscando eliminar a necessidade de se produzir em lotes, gerando por consequência estoques intermediários.
- Qualidade: o *layout* auxilia na qualidade na medida em que este possibilita o fluxo contínuo e conseqüentemente os defeitos são detectados assim que uma peça é transferida para o processo seguinte.
- Utilização de Mão-de-Obra multifuncional: a proximidade dos postos de trabalho pode permitir que um operador trabalhe em mais de um equipamento ao mesmo tempo. Portanto, a multifuncionalidade do operador depende entre outros aspectos do arranjo físico.
- Nível de complexidade de programação da produção: o nível de complexidade da programação da produção está correlacionado com a o nível de organização do fluxo de processo. Quanto maior a aleatoriedade do fluxo maior a dificuldade em se programar a produção nas estações de trabalho.

A. *Layout* funcional.

Em relação aos aspectos citados acima, o *layout* funcional não promove o fluxo contínuo, a produção é realizada em lotes o que aumenta o estoque em processo e a gestão visual fica comprometida devido à distância entre os departamentos. Quanto ao fator qualidade, a fabricação em lotes pode causar um retrabalho ou mesmo a perda de um lote inteiro quando um problema é detectado.

Um dos aspectos positivos do *layout* funcional é a flexibilidade. Como não existem máquinas dedicadas tanto uma quantidade variada quanto um *mix* variado de produtos podem ser feitos. Quanto ao fator mão-de-obra, o *layout* funcional ainda tende a utilizar trabalhadores

especializados e não multifuncionais. Finalmente, quanto à programação da produção, o nível de complexidade é elevado devido à falta de fluxo.

B. Layout por produto.

O *layout* por produto apresenta um avanço em relação ao *layout* funcional em termos de permitir o fluxo contínuo, reduzir os estoques em processo, permitir a gestão visual. Neste caso, o fluxo contínuo corrobora para a melhoria da qualidade porque caso uma peça seja produzida com defeito imediatamente este defeito é detectado no processo seguinte, evitando assim que todo um lote seja produzido com defeito.

Um dos pontos falhos do *layout* por produto é que este apresenta uma baixa flexibilidade de *mix*. Alterações nos tipos de produtos causam grande transtorno porque esse *layout* trabalha com equipamentos dedicados. Quanto à mão-de-obra de forma semelhante ao *layout* funcional este utiliza trabalhadores especializados.

Quanto ao último aspecto, a complexidade de programação da produção é baixa principalmente porque os equipamentos são dedicados.

C. Layout posicional.

O *layout* posicional como apresentado anteriormente tem características bem distintas dos outros *layouts* porque, nesse caso, o produto fica estacionário e os equipamentos se movimentam. Nesse arranjo físico não existe um fluxo contínuo e os estoques em processo podem ser elevados.

Quanto à flexibilidade, o *layout* posicional consegue absorver tanto uma alta variação de demanda quanto de produto. A gestão visual pode ser utilizada de forma eficiente nesse modelo de *layout*. Normalmente, utilizam-se trabalhadores especializados. Finalmente, a complexidade de programação da produção não é elevada e a qualidade é prejudicada devido à não existência do fluxo contínuo.

D. Layout celular.

Para finalizar em relação aos *layouts* tradicionais, o *layout* celular é o que mais se adequa aos conceitos da Produção Enxuta. Este promove o fluxo contínuo, reduz o nível de inventário em processo, facilita a gestão visual e promove de maneira eficiente o controle de qualidade. Além disso, o *layout* celular tem como princípio a utilização de mão-de-obra multifuncional, promove a integração dos funcionários através da formação de equipes e o nível de complexidade de programação da produção é bastante baixa.

O único fator *crítico* do layout celular é a flexibilidade quanto a produto. Este possui flexibilidade em relação a flutuações na demanda, mas uma baixa flexibilidade quanto à variação de produto.

E. Layout fractal.

Quanto aos novos *layouts*, iniciando a análise pelo *layout* fractal esse não promove o fluxo contínuo. Isso se deve ao fato das células fractais terem a capacidade de produzir todos os produtos. Conseqüentemente, será muito difícil estabelecer um padrão de *layout* dentro da célula fractal que permita um fluxo contínuo para todas as peças. Portanto, torna-se necessário produzir em lotes o que eleva o nível de estoques entre os processos.

Existe uma dificuldade em promover a gestão visual, na medida em que as peças não possuem um local específico de fabricação. A qualidade fica prejudicada devido à necessidade de se produzir em lotes.

Quanto aos aspectos de multifuncionalidade nesse tipo de *layout* tem-se a tendência em utilizar trabalhadores especializados pelo fato dos equipamentos estarem distantes e não existir fluxo contínuo. Dificilmente um operador consegue operar duas máquinas distintas como em um *layout* celular. O nível de complexidade da programação da produção é baixo devido à flexibilidade de produção.

A maior vantagem do *layout* fractal é a flexibilidade de demanda. Como as células têm a capacidade de produzirem os mesmos produtos variações na demanda podem ser facilmente absorvidas pela célula fractal. A flexibilidade de variação de produto dependerá de o quanto a célula fractal é especializada.

F. Layout modular.

Devido ao fato do *layout* modular permitir um fluxo entre os módulos existe a necessidade em se realizar a produção em lotes, não estabelecendo um fluxo contínuo, o que acarreta em um nível de inventário em processo maior do que o *layout* celular. Mas nesse modelo de *layout* o volume de estoque em processo tende a ser menor do que no *layout* funcional.

Quanto ao aspecto qualidade, esta acaba sendo afetada porque não existe um fluxo contínuo. A gestão visual é facilitada na medida em que a fábrica está particionada em módulos. Uma das vantagens desse modelo de *layout* é a capacidade de absorção de

flutuações de demanda e *mix*. A multifuncionalidade da mão-de-obra dependerá da forma como os recursos estão dispostos internamente nos módulos.

Quanto ao nível de complexidade de programação da produção este pode ser elevado ou não. Isso dependerá, diretamente, da intensidade de fluxo entre os módulos. Quanto maior a intensidade de fluxo entre os módulos e a quantidade de refluxo das peças dentro do módulo maior o nível de dificuldade de programação da produção.

G. *Layout* mini-fábricas.

As características desse *layout* são bastante semelhantes ao do *layout* modular com a principal diferença de que não existe fluxo entre as mini-fábricas, portanto, a movimentação de peças tende a ser menor e a programação da produção tende a ser mais simples.

H. *Layout* distribuído.

O *layout* distribuído, embora encontre pouca aplicação prática, apresenta como vantagem tão somente a flexibilidade de demanda e produto. Nesse *layout* pode-se destacar como um dos principais problemas o alto nível de dificuldade em programar a produção nos equipamentos.

H. *Layout* reconfigurável.

O *layout* reconfigurável tem uma série de pontos fortes como a promoção do fluxo contínuo, o baixo estoque em processo, a alta flexibilidade de *mix* e produtos, a promoção da qualidade, a possibilidade de utilização eficiente da gestão visual e a possibilidade de utilização da mão-de-obra multifuncional. Como aspectos negativos pode-se destacar a complexidade de programação da produção e conseqüente movimentação dos equipamentos.

A tabela 8 apresenta um resumo da análise dos *layouts* em relação aos princípios da Produção Enxuta. As células virtuais não foram consideradas porque embora citadas como modelo de *layout*, não se configura como um real modelo. Essas não têm uma definição clara de organização dos equipamentos.

De acordo com a tabela 3 o *layout* celular é o que mais se aproxima dos conceitos da Produção Enxuta, embora esse apresente algumas limitações. Portanto, não existe um *layout* ideal a ser utilizado. As particularidades de cada caso conduzirão a um tipo de *layout* específico. As empresas que adotam o sistema *lean*, em muitos casos têm utilizado um híbrido desses *layouts*. Para determinadas etapas do processo utilizam, por exemplo, um *layout* celular ou até mesmo um *layout* funcional. E para outras etapas do processo utilizam um

layout em linha. Esta mescla de *layouts* pode trazer muitos benefícios, como a não necessidade de duplicação de equipamentos e a formação de um fluxo eficiente de produção.

Tabela 3 Análise dos diferentes modelos de *layouts* sob a ótica da Produção Enxuta

| Modelos de <i>layouts</i> | Critérios de Análise | | | | | | | |
|---------------------------|----------------------|----------|---------------|-----------|-------------------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------|
| | Fluxo Contínuo | Estoques | Gestão Visual | Qualidade | Flexibilidade de mix e volume | Mão-de-obra multifuncional | Complexidade de programação | Movimentação |
| Funcional | baixa | alto | baixa | baixa | alta | baixa | alta | alta |
| Produto | alta | baixo | alta | alta | baixa | baixa | baixa | baixa |
| Posicional | baixa | alto | alta | alta | alta | baixa | baixa | alta |
| Celular | alta | baixo | alta | alta | baixa | alta | baixa | baixa |
| Fractal | baixo | alto | baixa | baixa | alta | baixa | baixa | baixa |
| Modular | médio | médio | alta | baixa | alta | baixa | alta | moderada |
| Mini-fábricas | médio | médio | alta | baixa | alta | baixa | média | baixa |
| Distribuído | baixa | alto | baixa | baixa | alta | baixa | alta | moderada |
| Reconfigurável | alto | baixo | alta | alta | alta | baixa | alta | baixa |

Neste capítulo foram apresentados os diversos modelos de *layouts* e sua correlação com a Produção Enxuta. Mas, além do projeto da disposição física das máquinas, outro desafio que surge em um trabalho de melhoria de *layout* é a implantação das melhorias projetadas com a fábrica mantendo suas operações cotidianas. Portanto, no capítulo 6 será apresentada uma metodologia de implantação de *layout* com a fábrica em funcionamento.

A seguir, será realizada uma melhor descrição do *layout* reconfigurável com alguns exemplos práticos de aplicação.

CAPÍTULO 4

4. O Evento kaizen

O evento *kaizen* é uma importante ferramenta utilizada pela *Toyota* para promover a mudança. Este busca quebrar um paradigma encontrado em muitas empresas, o de que a mudança é lenta. A seguir, são apresentados os conceitos e características dessa ferramenta.

4.1 Implantando o *layout* com a fábrica em funcionamento

A formulação da estratégia de implantação do *layout*, em uma situação de reorganização física de uma fábrica, e não de uma implantação de uma nova unidade, é um fator crítico a ser considerado.

A movimentação dos equipamentos para os lugares definidos no projeto pode depender da movimentação dos equipamentos que estão posicionados nesses locais. Neste caso é necessário definir quais os primeiros recursos que serão movimentados sem que ocorra uma interrupção no fluxo de produção da empresa.

Lacksonen *ET AL.* (1998) destaca que em um projeto de reorganização de *layout*, os departamentos não podem ser movidos para os locais definidos até que os ocupantes dos locais não sejam realocados. Além disso, tendo por base o custo de movimentação deve-se buscar reduzir os custos de implantação do *layout* pela estruturação de um projeto de mudança.

Além do custo de movimentação existem outros fatores que tornam a estratégia de mudança numa importante etapa da implantação do *layout*. A interrupção do fluxo produtivo, causando o não atendimento da demanda nos prazos pré-determinados, é uma variável tão importante quanto o custo de movimentação dos equipamentos.

A figura 25 apresenta de forma esquemática uma situação de reestruturação de *layout*. O departamento 1 deve ocupar o local do departamento 2 e esse por sua vez deve ocupar o local do departamento 3.

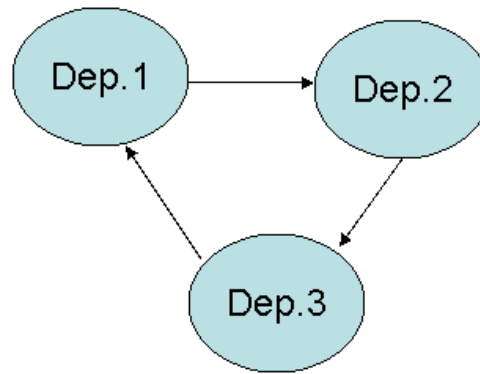


Figura 25 Reestruturação do layout

Fonte: Adaptado Lacksonen ET AL. (1998)

Considerando que os departamentos não possam ser movidos simultaneamente por questões de interrupção no fluxo de produção é necessário que um dos departamentos seja movido para um local provisório. A partir dessa movimentação os outros departamentos podem ser alocados nas áreas definidas. Posteriormente, o primeiro departamento pode ser movimentado para sua área definitiva, ver figura 26.

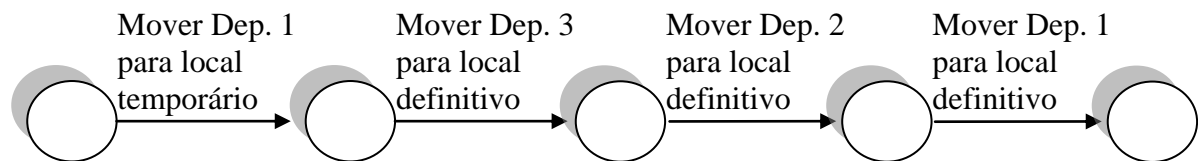


Figura 26 Etapas de mudança necessárias para realocar os departamentos

Fonte: Adaptado Lacksonen ET AL. (1998)

Para solucionar esse problema alguns autores como Lacksonen ET AL. (1998) e Driscoll ET AL. (1985) apresentam algoritmos de minimização dos custos de transição do layout atual para o novo layout.

Gonçalves Filho (2005) destaca que para se garantir uma implementação de layout com sucesso a equipe de projeto deve programar as atividades de implementação usando um simples gráfico de GANTT, a técnica do caminho crítico (CPM) ou um software de controle de projeto mais sofisticado, dependendo da dimensão do projeto do layout.

Uma metodologia desenvolvida na Toyota para realizar as mudanças na fábrica sem interromper a produção é o Evento Kaizen. Por intermédio dessa metodologia as mudanças propostas são implantadas utilizando o conhecimento dos próprios operadores do chão-de-fábrica. Essa é uma forma de eliminação do oitavo desperdício e também uma maneira de

reorganizar a fábrica sem impactar, principalmente, nos prazos de entrega dos produtos finais aos clientes.

A seguir, serão apresentados a definição do evento *kaizen* e os conceitos que envolvem essa metodologia de mudança.

4.2 Kaizen e o Evento Kaizen

Segundo Conner (2001) *kaizen* é a palavra japonesa para “fazer pessoas trabalharem da melhor forma possível”.

Kaizen é uma palavra japonesa que significa melhoria. Segundo Wittenberg (1994) “*kaizen*” ou “melhoria contínua” é um lema corrente no Japão e está sendo disseminado em todo mundo porque, segundo alguns estudiosos, compreender o conceito do *kaizen* é essencial para entender as diferenças entre os métodos de gerenciamento Japonês e o Ocidental.

As melhorias (*kaizens*) propostas, por exemplo, em um trabalho de concepção, desenvolvimento e implantação de Produção Enxuta pode ser feito por meio do Evento *Kaizen*.

A técnica do evento *kaizen* consiste na formação de uma equipe multifuncional a qual deverá promover uma melhoria em um curto intervalo de tempo. Segundo Sharma e Moody (2003) um evento *kaizen* tem como características, o foco no trabalho em equipe, a solução de problemas específicos de determinada área da empresa e objetivos preestabelecidos a serem alcançados até o final de um período pré-estabelecido (uma semana).

Um evento *kaizen* tem por definição a duração de 5 dias. Segundo Sharma e Moody (2003) os dias do evento *kaizen* podem ser divididos nas seguintes etapas:

4.2.1 Primeiro dia: Aprendendo conceitos

O primeiro dia consiste na apresentação da metodologia *kaizen* de melhoria e mudança. Neste primeiro momento, são determinadas as funções de cada integrante da equipe. A equipe deve ser constituída de pessoas das mais diversas áreas, envolvendo funcionários de chão-de-fábrica, de custos, de processo, entre outros.

Também nesse início são apresentados os problemas e os objetivos a serem alcançados. Nesta fase são apresentadas as ferramentas e conceitos que possivelmente poderão ser utilizados durante o projeto, como, Mapa do Fluxo de Valor, *Layout* Celular, Conceito de fluxo Contínuo, Sistema *Kanban*, etc.

4.2.2 Segundo dia: Observações iniciais – aprendendo a ver

O segundo dia consiste na observação *in loco* das mudanças a serem realizadas. Nesta fase todos os envolvidos iniciam uma discussão sobre os problemas e potenciais soluções.

Com base nas observações realizadas no final do dia é realizado um *brainstorming* com objetivo de definir quais ações serão realizadas. Um plano de ações definido deve ser o resultado do final do dia de trabalho.

4.2.3 Terceiro dia: Mãos sujas e tênis empoeirados

Neste dia inicia-se o processo de implantação das ações. Deve-se ressaltar que o evento *kaizen* é prioritário, ou seja, caso algum membro da equipe requisite uma informação ou auxílio de algum funcionário da empresa este deve atender prontamente.

4.2.4 Quarto Dia: a inovação

O quarto dia consiste na finalização das implantações das melhorias. Todas as inovações sugeridas devem ser implementadas até o final do quarto dia.

4.2.5 Quinto dia: Documentação, apresentação e comemoração

O último dia consiste na documentação das ações realizadas. Essa documentação fica como base para novos eventos *kaizens*. Uma apresentação para a diretoria da empresa deve ser realizada com objetivo de mostrar os resultados obtidos. A última etapa do evento *kaizen* é a realização de uma comemoração com participação de todos os integrantes da equipe.

Em resumo, o evento *kaizen* deve ser composto das atividades de: Apresentação da metodologia e dos objetivos da equipe; Análise dos problemas; Proposição de soluções; Implantação das soluções; Apresentação dos resultados e Comemoração. A figura 27 mostra as etapas e suas durações em um evento *kaizen*.

O evento *kaizen* tem sido utilizado pelas empresas durante a sua migração para o sistema de Produção Enxuta. Entre algumas das vantagens dessa técnica pode-se destacar:

- Foco na melhoria;
- Utilização e desenvolvimento de equipes multifuncionais;
- Priorização das atividades de melhorias.

Para não interromper a rotina de produção uma estratégia a ser adotada antes do evento *kaizen* é a formação de “*buffers*” nos locais onde ocorrerão as mudanças. Esses pulmões propiciarão à fábrica continuar trabalhando durante a semana em que o evento estará sendo realizado.

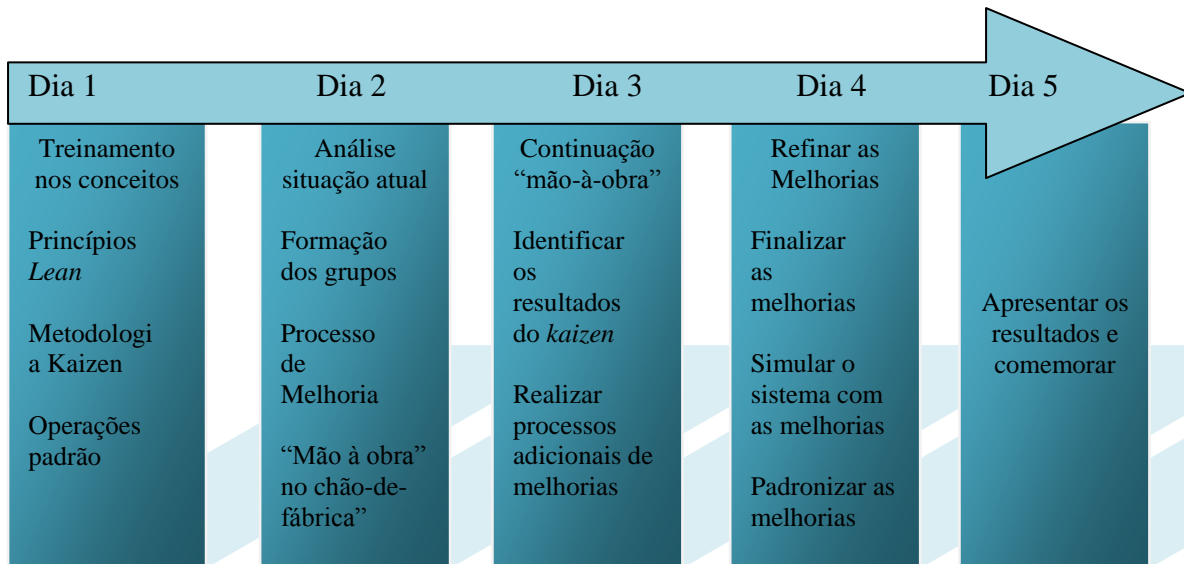


Figura 27 Etapas do evento kaizen

Fonte: Brown et.a l. (2006)

Em resumo, o evento *kaizen* é uma importante metodologia de implantação das mudanças sugeridas em um projeto de *layout*, porque:

- Permite que as mudanças sejam realizadas com a fábrica em funcionamento;
- Usa o conhecimento das pessoas no chão-de-fábrica para auxiliar no processo de mudança;
- Gera nas pessoas envolvidas na mudança o "sentimento" de propriedade do sistema. Ou seja, as pessoas que trabalham no setor que sofreu as mudanças sentem-se co-autoras das mudanças realizadas. Portanto, existe uma maior possibilidade das mudanças serem implantadas com sucesso.

Portanto, a utilização dessa metodologia se torna em uma importante estratégia a ser adotada nas mudanças físicas do *layout* e mesmo na implantação de um sistema de Produção Enxuta.

CAPÍTULO 5

5. Modelos de Construção de *layout*.

Existem na literatura diversos modelos para o projeto de *layouts*. A seguir serão apresentados alguns desses modelos.

5.1 Modelos de projeto de layout

Existem na literatura diversos modelos de projeto de arranjo físico. A seguir, serão apresentados alguns desses modelos.

5.1.1 O modelo SLP - Systematic Layout Planning

O mais antigo e tradicional modelo de projeto de *layout* foi concebido por Muther (1973) e denominou-se SLP - *Systematic Layout Planning*. A estrutura do modelo é apresentada na figura 28 a seguir.

O modelo SLP é amplamente utilizado para a concepção de *layouts* funcionais.

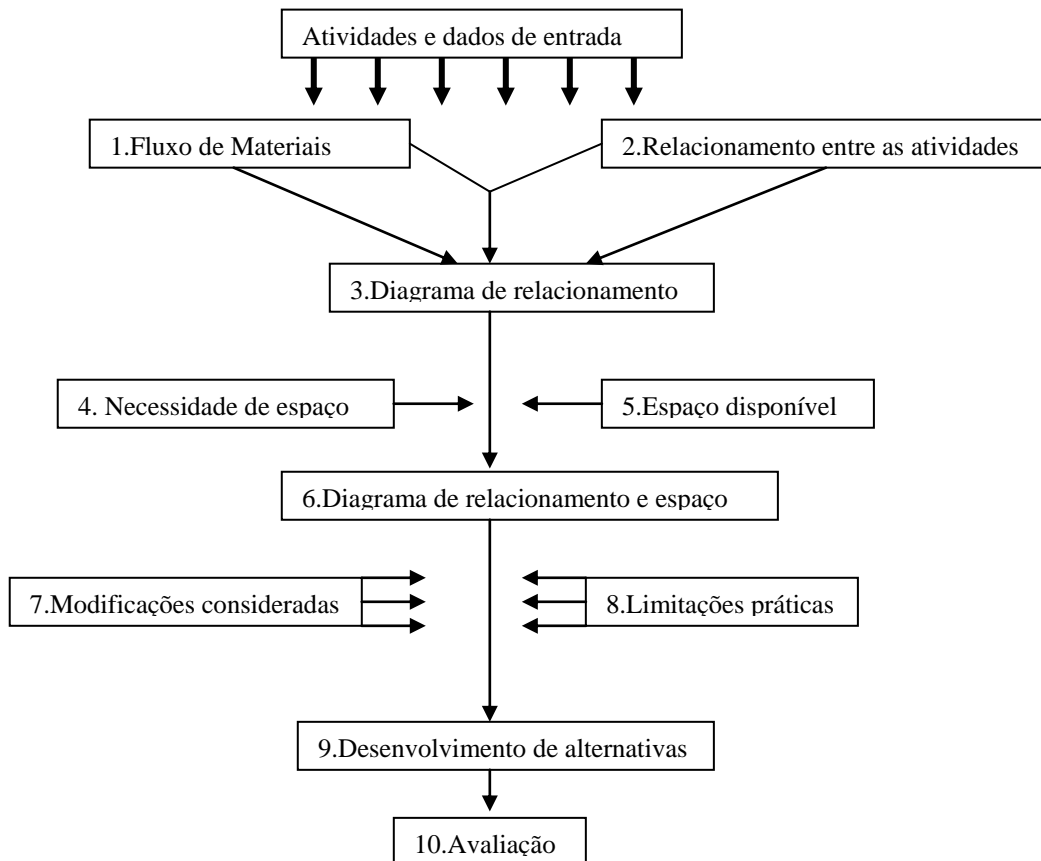


Figura 28 Modelo SLP (Muther, 1973)

Etapa 1 - Fluxo de materiais: nessa etapa deve-se levantar qual o caminho percorrido pelos materiais no chão-de-fábrica. Caso esteja se trabalhando em um projeto de escritório deve-se levantar o trajeto das informações através dos diversos departamentos.

Etapa 2 e 3 – Relacionamento entre as atividades e Diagrama de relacionamento: nessa etapa deve-se levantar qual o relacionamento existente entre as atividades ou departamentos. Para isso pode-se utilizar o diagrama de relacionamento. A figura 29 apresenta um exemplo de diagrama.

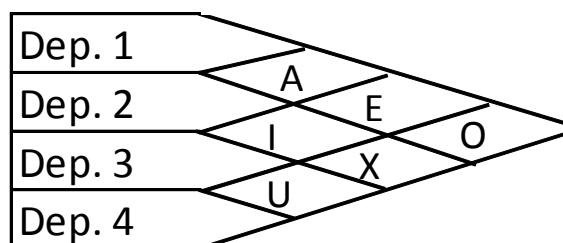


Figura 29 Diagrama de relacionamento

Fonte: Figura do autor

As letras no diagrama indicam o tipo de relação entre os departamentos ou áreas. As letras que podem ser utilizadas no diagrama são:

- A – Absolutamente necessário: indica que é necessário que os departamentos estejam próximos.
- E – Muito importante: indica que existe uma grande intensidade de fluxo entre os departamentos, portanto, é importante que estejam próximos.
- I – Importante: indica que existe fluxo entre os departamentos e caso seja possível estes devem estar próximos.
- O – Pouco Importante. Indica que a quantidade de fluxo entre os departamentos é pequena. E portanto, não necessariamente os departamentos necessitam estar próximos.
- U – Desprezível: indica que não há fluxo entre os departamentos ou uma quantidade desprezível e portanto não precisam estar próximos.
- X – Indesejável: indica que os departamentos não podem estar próximos.
Exemplo: setor de pintura e área de soldagem.

Etapa 4 e 5: Necessidade de espaço e espaço disponível: nessa etapa devem ser levantadas as necessidades de espaço que o novo *layout* requer e qual a disponibilidade de espaço existente.

Etapa 6: Diagrama de relacionamento e espaço: o diagrama de relacionamento e espaço consiste na representação dos departamentos e do espaço requerido por cada um desses. A figura 30 apresenta um exemplo esquemático de digrama de relacionamento e espaço.

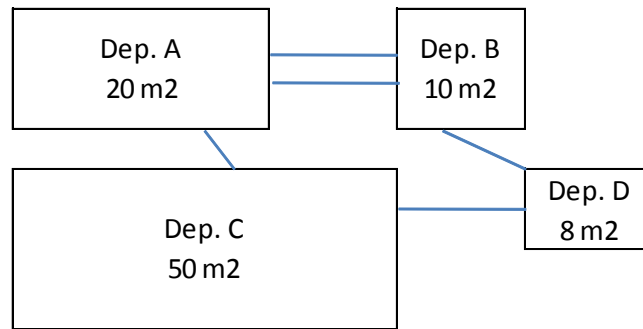


Figura 30 Diagrama de relacionamento e espaço

Fonte: Figura do autor

Etapa 7 e 8: Modificações consideradas e Limitações práticas: nesta etapa devem ser levantadas quais as limitações existentes e quais as modificações que serão consideradas.

Etapa 9: Desenvolvimento de alternativa: através das informações e ferramentas utilizadas deve-se formular alternativas de *layout*.

Etapa 10: Avaliação: a avaliação consiste na análise da alternativa formulada.

5.1.2 O modelo de Hyer e Wemmerlöv.

Hyer e Wemmerlöv (2002) apresentam um modelo para projeto de *layout* celular. A figura 31 apresenta o modelo simplificado desenvolvido pelos autores.

Esse modelo consiste basicamente na identificação das famílias de produtos ou peças baseados em critérios relacionados a produtos ou processos. Em seguida, deve-se determinar quais os equipamentos mais adequados para os processamento das famílias e dimensionar a quantidade de equipamentos e pessoas para cada família. Por último deve-se projetar a célula de produção.

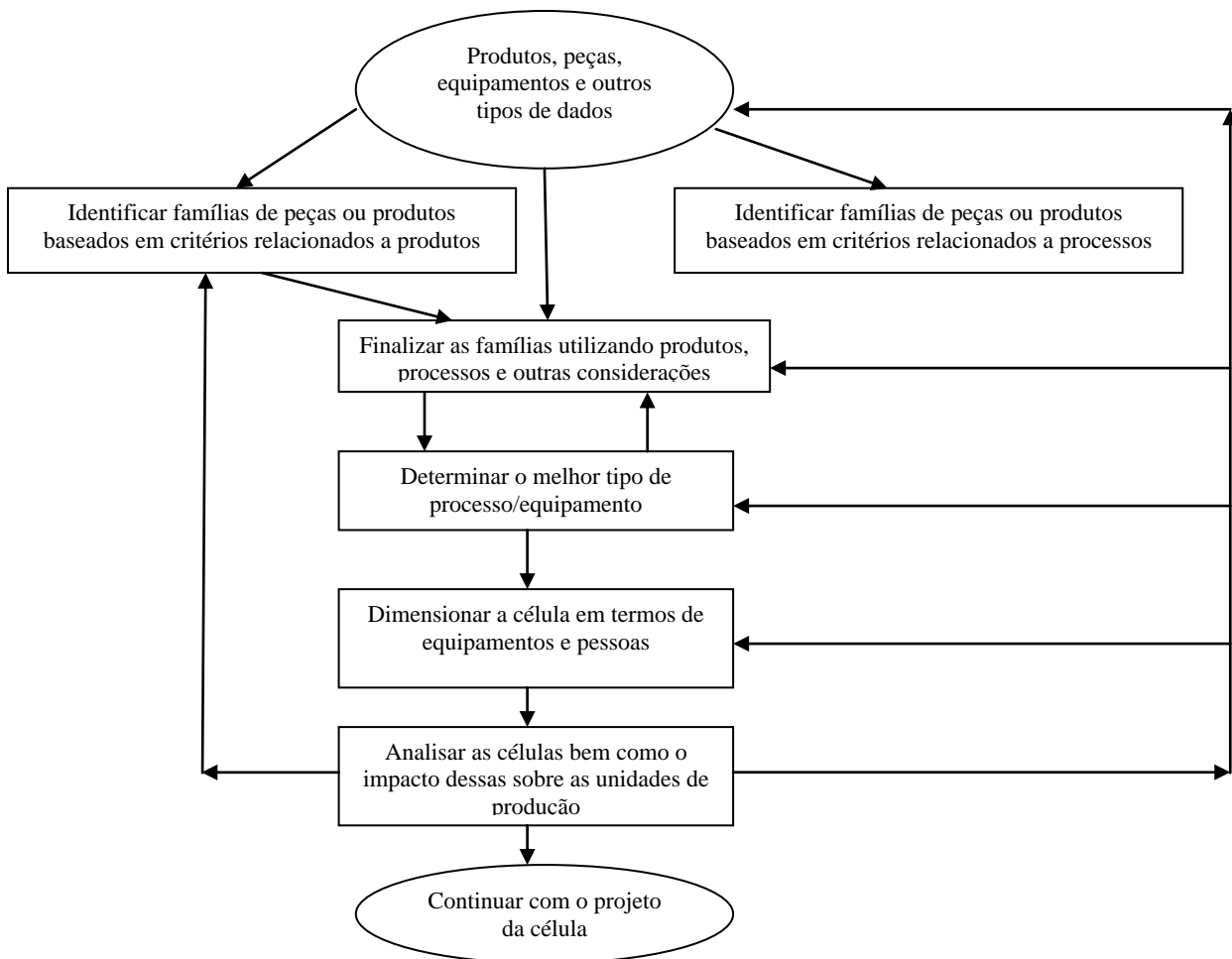


Figura 31 Modelo simplificado de projeto de células

Fonte: Hayer e Wemmerlöv (2002)

Como mencionado anteriormente, o modelo desenvolvido pelos autores é voltado apenas para o projeto de *layout* celular, não abrange outros conceitos de *layout*.

5.1.3 Modelo de Vilarinho.

Vilarinho (1997) apresenta um *software* direcionado para o projeto de *layouts*. Neste modelo desenvolvido o projeto do *layout* está dividido em sete módulos:

1. Desenho dos modelos geométricos dos objetos (máquinas, armazéns e edifícios).
2. Desenho dos postos de trabalho.
3. Planejamento de recursos (equipamentos e mão-de-obra).
4. Alocação de operações a máquinas
5. Agregação de máquinas em seções
6. Implantação das seções
7. Implantação global

A figura 32 apresenta a janela principal *software* de projeto de *layout* desenvolvido.



Figura 32 Janela principal do sistema

Fonte: Vilarinho (1997)

O módulo 1 e 2 consiste do desenho dos *layouts* das máquinas, dos almoxarifados, do edifício onde estão dispostas as máquinas e almoxarifados e dos postos de trabalho.

O módulo de planejamento de recursos consiste do levantamento e análise dos processos e recursos necessários de forma a minimizar os custos associados ao sistema de produção em análise.

Segundo Vilarinho (1997) a formulação deste problema tem em conta um conjunto de restrições que limitam o volume de investimento efetuado e os custos incorridos durante o horizonte de planejamento e pressupõe a especificação, para esse horizonte de planejamento:

1. do valor da procura para cada um dos produtos a fabricar.
2. dos custos e dos aspectos condicionantes da utilização de cada uma das classes de mão-de-obra.
3. dos custos e das capacidades de cada um dos tipos de máquinas.
4. dos diferentes processos alternativos para a fabricação de cada componente.

E, para cada um destes processos alternativos,

1. da utilização dos recursos
2. das estimativas dos custos de operações associados.

O módulo de Alocação (Afectacao) de operações tem por objetivo definir em detalhe em qual máquina específica será efetuada cada operação de fabricação. Este problema é de crucial importância para a definição de células de fabricação.

O módulo de agregação de máquinas em seções envolve a definição de como as máquinas serão agrupadas nas áreas de fabricação. O objetivo deste módulo é buscar alocar as máquinas de forma a obter células de fabricação.

O último módulo, ou seja, de implantação, consiste da definição do posicionamento relativo das máquinas nas seções (células) de fabricação e destas na área fabril.

Na figura 33, a seguir, estão representadas as principais interações entre os módulos do sistema desenvolvido por Vilarinho (1997). Segundo o autor, essas interações são algumas das razões que podem conduzir à criação de diferentes soluções para cada problema em análise.

No modelo proposto a solução do problema do planejamento de recursos (equipamento e mão-de-obra) fornece as seqüências de processamento de cada componente, o número de máquinas de cada tipo requeridas e, conseqüentemente, a ocupação de cada tipo de máquina por operação. Estes resultados são utilizados como “*inputs*” no módulo de agregação de operações de fabricação. Neste módulo, é efetuada a distribuição das operações de fabricação pelas máquinas, com o duplo objetivo de diminuir a dispersão das operações e de agrupá-las com base na semelhança das seqüências de processamento em que se integram.

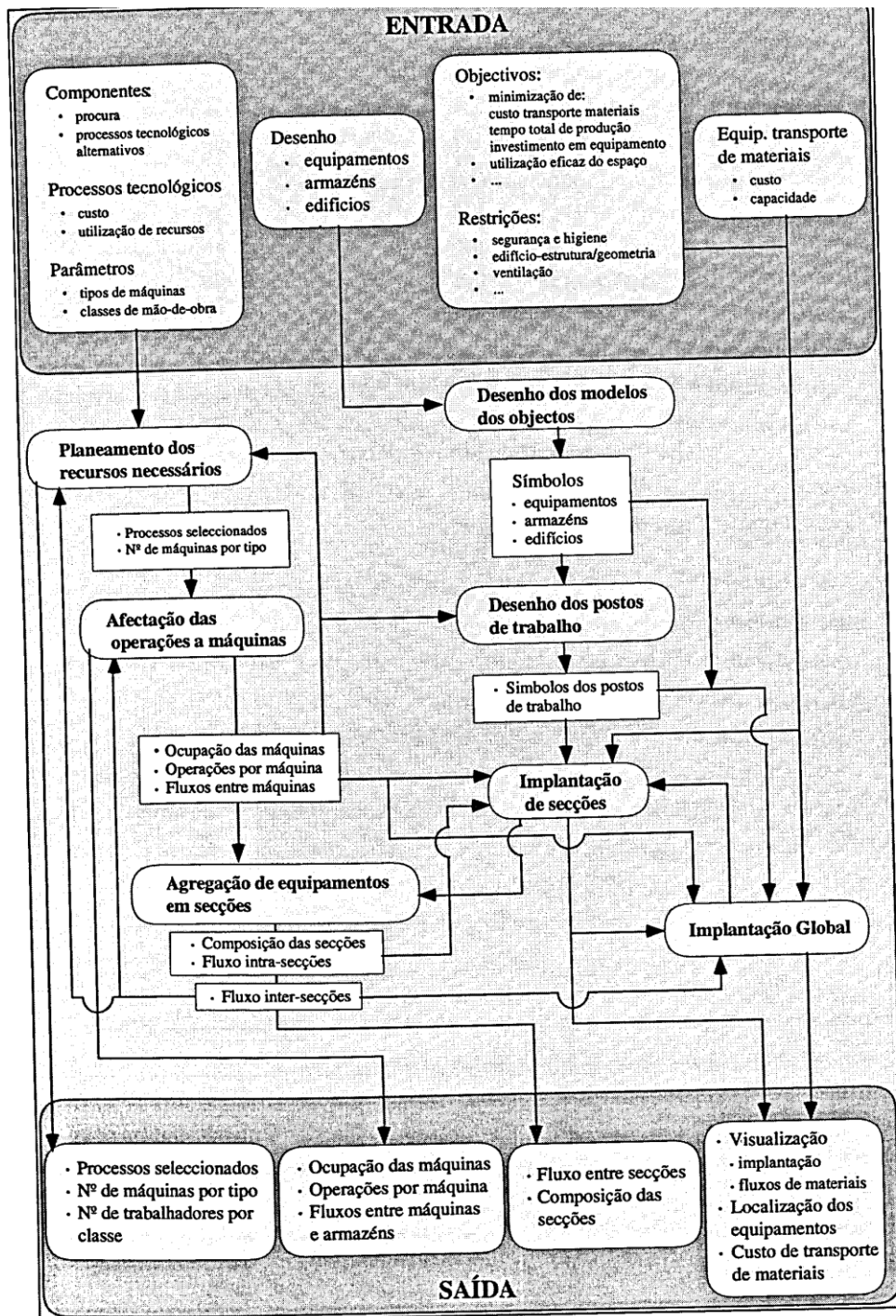


Figura 33 Principais interações do sistema de apoio ao desenho de implantações fabris.

Fonte: Vilarinho (1997)

5.1.4 Modelo de Gonçalves Filho

Gonçalves Filho (2005) apresenta um modelo para projeto de arranjos físicos. A figura 34 a seguir apresenta o modelo.

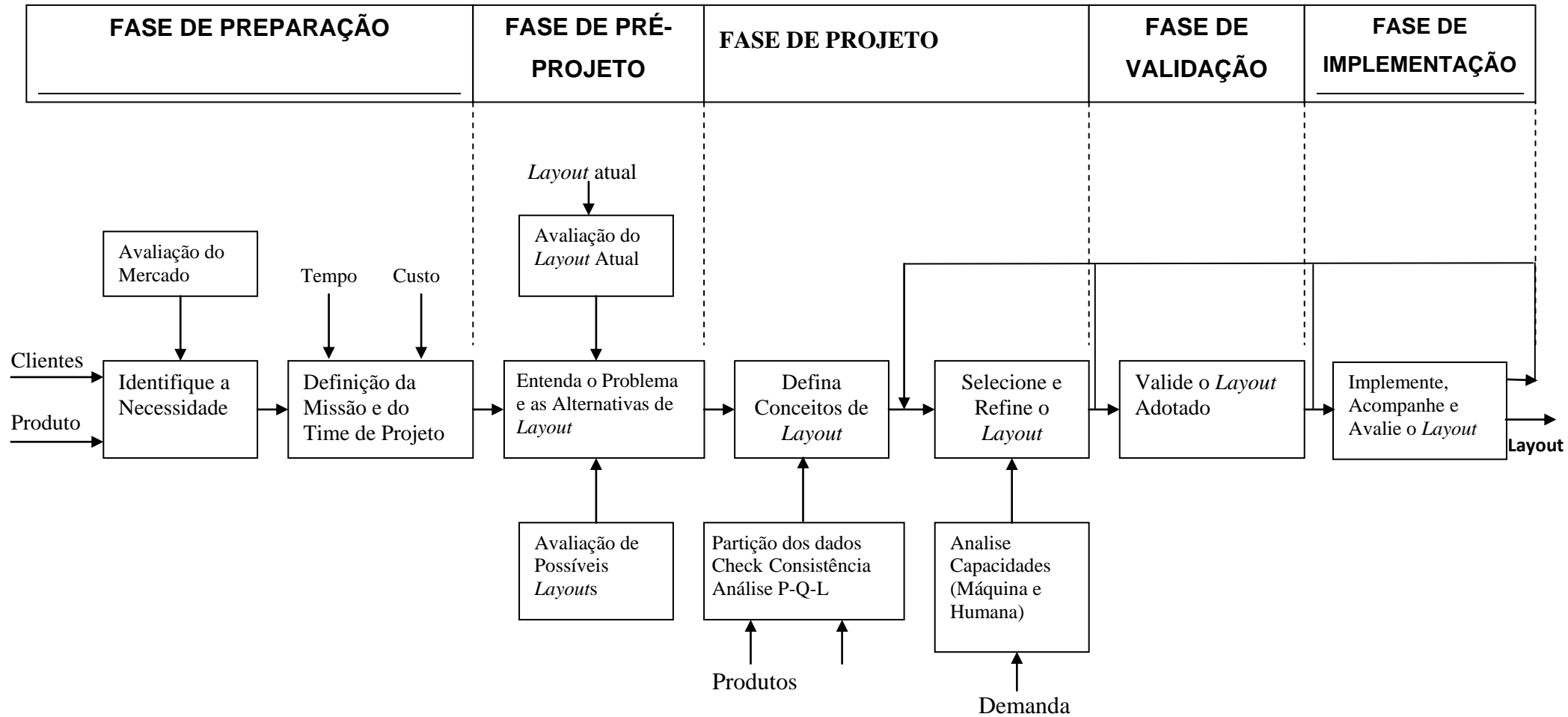


Figura 34 Modelo de Gonçalves Filho (Gonçalves Filho, 2005).

O modelo consiste de cinco fases. Cada uma das fases é brevemente descrita a seguir:

1. Fase de preparação: a fase de preparação consiste da definição da necessidade de se fazer uma reestruturação do *layout* ou mesmo se projetar um novo *layout*. Solicitações dos clientes por novos produtos podem ser *inputs* que levem a empresa a reprojetar o *layout* em função da necessidade de fabricar produtos.
2. Fase de pré-projeto: consiste no levantamento do *layout* atual e no entendimento dos possíveis conceitos de *layouts* que podem ser aplicados.
3. Fase de projeto: consiste na definição e projeto do novo *layout*. Nessa etapa podem ser formuladas mais de uma alternativa de *layout*.
4. Fase de validação: consiste em analisar as propostas de *layout* e validar a proposta mais adequada.
5. Fase de implementação: consiste na implementação do *layout* selecionado e no acompanhamento do desempenho do *layout* após sua implementação.

5.1.5 Método Dos Elos

Segundo Borba (1998) o Método dos Elos baseia-se na determinação de todas as inter-relações possíveis entre as várias unidades que compõem o arranjo físico, de forma a se poder estabelecer um critério de prioridade na localização dessas unidades.

Segundo o modelo, no projeto do arranjo físico devem ser priorizadas as localizações dos setores com maior movimentação. É definido como ELO, o percurso de movimentação que liga duas unidades ou setores. Assim, o elo AB é o percurso que liga o setor A ao setor B. A seguir, são descritas as etapas desse modelo.

1. Determinar para cada produto (ou serviço) a seqüência de operação e quantidade de transporte (volume de produção e capacidade do veículo), área necessária para cada unidade de trabalho (bancada, máquina, etc ;definir para cada produto a seqüência de operação;

| produto | roteiro | Quantidade transp |
|---------|---------|-------------------|
| P1 | A-B-C-D | 10 |
| P2 | A-B-D | 5 |

Quadro 1 –Seqüência de operação e movimentação

Fonte: (Borba, 1998)

- Determinar o fluxo do transporte, sendo que o fluxo de transporte representa o número total de transportes entre as unidades.

| Elo \ produto | P1 | P2 | TOTAL |
|---------------|----|----|-------|
| AB | 10 | 5 | 15 |
| BC | 10 | | 10 |
| CD | 10 | | 10 |
| BD | | 5 | 5 |

Quadro 2 – Fluxo de transporte

Fonte: (Borba, 1998)

- Elaborar o Quadro dos Elos. Na interseção de cada linha com cada coluna, deve-se identificar o número de elos existentes em ambos os sentidos entre as unidades do arranjo físico. A soma dos elos que ligam cada unidade às demais fornece a maior ou menor importância de cada unidade nos ciclos de fabricação dos produtos.

| | A | B | C | D |
|---|----|----|----|----|
| D | | 5 | 10 | 15 |
| C | | 10 | 20 | |
| B | 15 | 30 | | |
| A | 15 | | | |

Quadro 3 - Quadro dos elos

Fonte: (Borba, 1998)

- Por último, a unidade que tiver o maior número de elos deve ser localizada na posição central. As demais unidades devem ser alocadas em torno dessa unidade central. Procurar levar em consideração os fluxos dos produtos para evitar retornos.

Além do modelo apresentado, Borba (1998) destaca outros modelos de projeto de layout: Método do Torque com Valores Corrigidos, o Método do Diagrama-De-Para; Método da Sequência da demanda Direcional NOY.

5.1.6 Modelo de Quaterman Lee

Quaterman Lee (2003) apresenta um modelo para projeto do *layout* da estação de trabalho. O modelo aborda questões essenciais de ergonomia no projeto e concepção do posto de trabalho. A figura 35 a seguir apresenta o modelo.

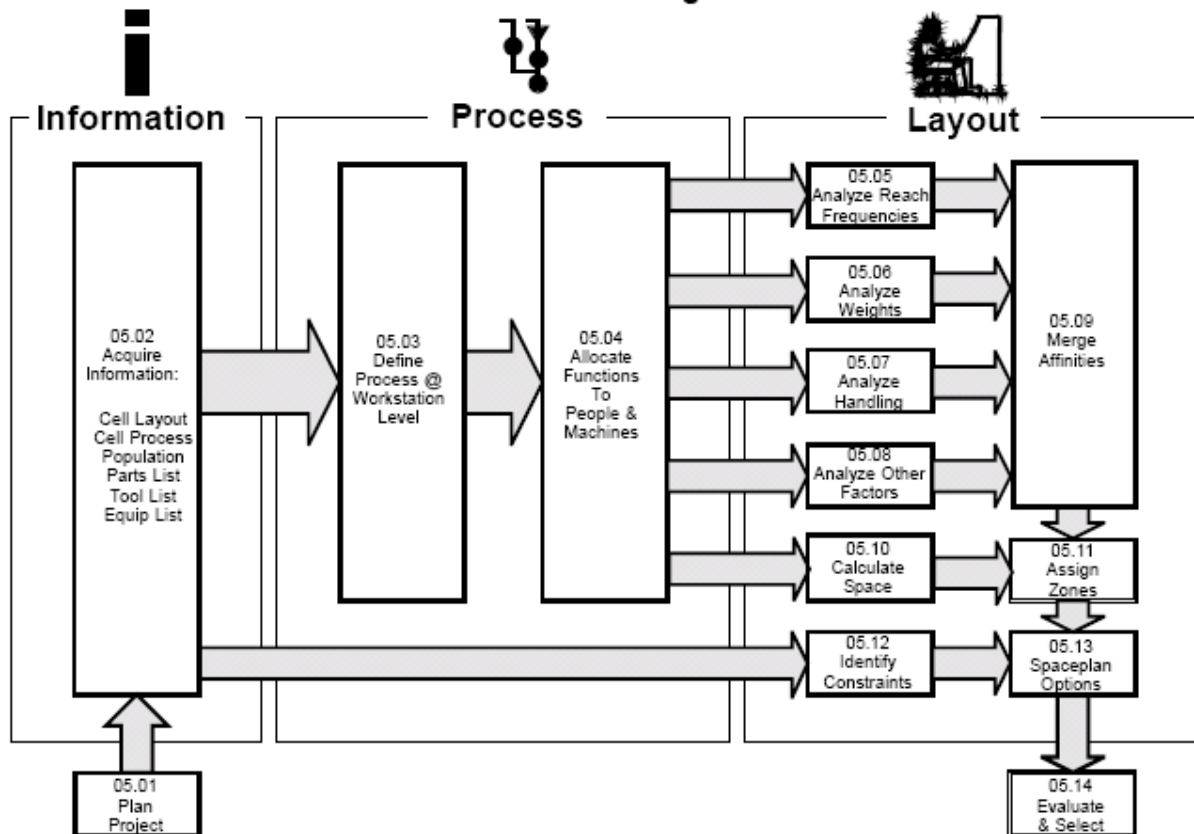


Figura 35 Modelo de projeto da estação de trabalho

Fonte: Quaterman Lee (2003)

Segundo Lee deve-se inicialmente definir quais serão os integrantes da equipe de projeto. Após essa etapa deve-se iniciar o projeto da estação de trabalho. Esse processo pode ser dividido em 4 macro etapas.

Na primeira etapa são levantadas as informações relacionadas ao layout, à lista de ferramentas, às famílias de peças que serão processadas naquela estação de trabalho, etc.

A segunda etapa consiste na análise do processo. Pode-se utilizar um diagrama de processo para analisar o fluxo das peças pela estação de trabalho. Também nesta etapa devem ser definidas as funções dos operadores e dos equipamentos.

Na terceira etapa devem ser analisados fatores como espaço, movimentação, restrições existentes, entre outros.

Por último, deve-se avaliar e selecionar a alternativa de arranjo físico da estação de trabalho que melhor se adéque às necessidades definidas.

5.1.7 O Modelo 3P *Kaizen*

O modelo 3P *Kaizen* para projetos de *layout* é uma metodologia desenvolvida na *Toyota* específica para projetos de novas unidades fabris ou de uma nova linha de produção.

Esse modelo utiliza ferramentas bastante simples como será apresentado. O objetivo é que toda a equipe de projeto consiga discutir e colaborar com sugestões ao invés de se preocupar com a ferramenta que está sendo utilizada.

Outro ponto importante da metodologia é a construção de maquetes em tamanho real ou em escala. A seguir são apresentadas as etapas do 3P *Kaizen* e as ferramentas utilizadas.

Etapa 1: Formação da equipe.

A equipe deve ser composta por membros que tenha ao menos participado de um Evento *Kaizen*. O Evento *kaizen*, como mencionado anteriormente, consiste na formação de uma equipe de pessoas com o foco de eliminar um problema específico num período de uma semana.

Um dos princípios da metodologia 3P é que a equipe que inicia o projeto somente deverá ser dissolvida quando todas as atividades tiverem sido realizadas.

Por último, a equipe tem autonomia total para desenvolver suas atividades.

Etapa 2: Formulação de alternativas para cada etapa do processo.

Formada a equipe e iniciado o projeto 3P para cada etapa do processo sete alternativas devem ser formuladas. Para cada alternativa deve-se especificar claramente: O método; O poka-yoke; Os instrumentos de medições e ferramentas; Os gabaritos e fixações.

A ferramenta utilizada nesta atividade é apresentada a seguir, ver figura 36:

Seven Ways para cada processo

| | | | | | | | | |
|-----------------------------|--|------------------------------|---|---|---|-------------------------|---|---|
| Esboço do Processo | | Peça _____ Processo _____ | | | | Requisitos de Qualidade | | |
| | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Método | | | | | | | | |
| Poka-Yoke | | | | | | | | |
| Inst. Medição / Ferramentas | | | | | | | | |
| Gabaritos / Fixações | | | | | | | | |

Figura 36 : Seven ways para cada processo

Fonte: figura do autor

Exemplificando o uso da ferramenta consideremos um processo com as seguintes etapas: Soldar; Limpar, Montar.

Para o processo de Limpar, por exemplo, sete maneiras de limpar as peças devem ser especificadas, ex.: Utilizar jato de ar; Utilizar jato de água; Limpar Manualmente; Limpar usando produtos químicos, etc.

Para cada processo de Limpar especificado deve ser determinado o *Poka-yoke* a ser utilizado. *Poka-yoke* é o sistema que garante que nenhuma peça ou produto será fabricado ou enviado ao cliente com defeito. O *poka-yoke* pode estar relacionado também com aspectos de ergonomia e segurança do trabalho. Cabe ressaltar que o *poka-yoke* pode ser de 3 níveis:

6. *Poka-yoke* nível 1: evita que o erro ocorra. *Poka-yokes* desse nível podem ser encontrados, por exemplo, em computadores. As entradas de cabos somente se conectam nos locais corretos. Um exemplo em relação a segurança no trabalho são *poka-yokes* em prensas que exigem que o operador utilize as duas mãos para acionar o equipamento. Dessa forma não há como ocorrer acidentes.

7. *Poka-yoke* nível 2: alerta que o erro está ocorrendo. Esse modelo de *poka-yoke* pode ser encontrado por exemplo em carros. Alguns modelos emitem sinal sonoro quando o motorista esquece o farol ligado. Neste caso, o *poka-yoke* não evita que o erro ocorra mas alerta que o erro está ocorrendo.
8. *Poka-yoke* nível 3: evita que o produto com defeito chegue ao cliente. *Poka-yokes* desse nível estão relacionados a processos de inspeção. De forma diferente aos processos anteriores, esse não evita que o erro ocorra ou alerta que o erro está ocorrendo, apenas não permite que o erro chegue ao cliente.

Voltando ao exemplo, ao menos um tipo de *poka-yoke*, independentemente do nível mas preferencialmente de nível 1, deverá ser relacionado para cada método de limpeza especificado.

De forma semelhante, deverão ser determinados os instrumentos de medição e ferramentas e os gabaritos e fixações.

Etapa 3: Análise das propostas

Definidas as propostas para cada etapa do processo deve ser feita uma votação para identificar as três melhores propostas. A ferramenta utilizada é apresentada na figura 37.

Pode-se também de início selecionar a alternativa com maior pontuação e agregar a essa, caso seja possível, os pontos fortes das outras duas alternativas.

Etapa 4: Esboço do processo

Definidos os melhores métodos de cada etapa do processo inicia-se a fase de projeto do processo completo. Nesta etapa deve-se pensar em alguns pontos fundamentais: *Takt time*; Sistema Puxado e Fluxo contínuo. A ferramenta utilizada nesta etapa é apresentada na figura 38 a seguir.

Process at a Glance

Pense: takt time, Fluxo Contínuo, Sistema Puxado

| | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Esboço do processo (Material) | | | | | | | | | | | | | |
| Método | | | | | | | | | | | | | |
| Poka-Yoke | | | | | | | | | | | | | |
| Ferramentas | | | | | | | | | | | | | |
| Gabarito/ Fixações | | | | | | | | | | | | | |
| Máquina | | | | | | | | | | | | | |

Figura 38 Ferramenta Process at a glance

Fonte: figura do autor

Etapa 5: Fazer maquetes

Por último devem ser realizados maquetes de *layout* da alternativa de processo estabelecido até o momento. Deve-se lembrar que a construção dessas maquetes deve ser em escala, preferencialmente, 1:1. O material a ser utilizado é: Papelão, tesouras, colas, fitas adesivas e outros materiais simples.

5.2 Análise dos modelos de projeto de *layout*

Realizando uma análise crítica em relação aos modelos apresentados, o modelo de Muther (1973), embora seja até os dias de hoje a base para construção de novos modelos, é limitado porque apenas considera os *layouts* tradicionais. Além disso, o modelo não considera

a hipótese de antes de se projetar o *layout* reavaliar o fluxo de produção, ou seja, fazer uma análise da situação atual e projetar uma situação futura antes de se projetar o *layout*.

Quanto ao modelo de Hayer e Wemmerlöv (2002), este considera apenas a hipótese de formação de células de fabricação. Com isso, o modelo se restringe a casos restritos de empresas com características de demanda e produtos bem definidas, ou seja, produtos com demanda estável, com fluxo padronizado, com possibilidade de duplicação de equipamentos, etc.

Em ambientes *job shop*, com alta variabilidade de peças, demanda instável, ou ambientes *make-to-order*, cujo o fluxo de processo não tem a mesma seqüência devido a constantes alterações no produto a possibilidade de utilização de células de produção é bastante restrita.

Quanto ao modelo de Vilarinho (1997) uma das restrições do *software* consiste do fato deste utilizar apenas dois conceitos de *layout*, o *layout* funcional e o *layout* celular. Inicialmente, este busca agrupar peças e produtos para gerar um *layout* celular. Caso isso não seja possível este utiliza o conceito de *layout* funcional para projetar o *layout* da fábrica.

Uma outra restrição do *software* é a variação na quantidade dos lotes de transporte. Este parte do princípio de que a quantidade transportada permanece estável. Ou seja, flutuações na demanda, as quais gerariam alterações na quantidade de lotes transportados, conduz a diferentes formas de arranjo físico.

Outra restrição do *software* consiste do fato deste não diferenciar produtos *best sellers* dos produtos menos importantes em termos de retorno financeiro à empresa. No projeto do *layout* este apenas subdivide os produtos de acordo com a similaridade de fluxo de processo.

O Modelo de Quaterman Lee é um modelo adequado para projeto do posto de trabalho. Este busca abordar fatores de ergonomia, os quais são essenciais no projeto da estação de trabalho. Iida (2005) também apresenta estudos relacionados ao projeto do posto de trabalho focado em fatores ergonômicos.

O modelo de Gonçalves Filho é um modelo bastante abrangente. O autor apresenta uma sistemática para identificar o modelo de *layout* mais adequado para diferentes ambientes de produção.

Quanto ao método dos elos esse é um modelo adequado para se localizar setores de forma a minimizar a movimentação. Esse é um modelo bastante simplista pois foca tão e somente na movimentação das peças.

Quanto à metodologia 3P *Kaizen* um primeiro ponto a se destacar dessa metodologia é que existe uma mudança na visão que muitas empresas possuem de, primeiramente, estabelecer o *layout*, depois o método e por último as máquinas a serem utilizadas.

Na visão do 3P em primeiro lugar devem ser estabelecidos os processos e depois os equipamentos. O *layout* é a última etapa de um projeto de uma nova fábrica ou de uma nova linha de produção.

Outro ponto a se destacar, é a padronização das atividades. No projeto dos processos nenhum desses deveria possuir uma atividade com tempo superior a 10 minutos.

Como mencionado anteriormente, um dos pontos fundamentais do sucesso de um projeto 3P *Kaizen* consiste em manter a equipe até a completa consolidação do projeto.

A seguir, será apresentado o modelo de *layout* desenvolvido neste trabalho.

CAPÍTULO 6

6. O modelo proposto de projeto de *layout*.

Como mencionado anteriormente, o modelo de projeto de *layout* que será apresentado está voltado para empresas de manufatura discreta em ambientes de alta variedade de produtos ou peças.

Variedade de produtos ou peças refere-se aos diferentes produtos e peças que são fabricadas pela empresa. Essa variedade pode ser classificada como alta ou baixa. Vale destacar que uma empresa pode possuir uma alta variedade de peças e uma baixa variedade de produtos e, também, uma alta variedade de produtos e uma baixa variedade de peças que os compõe. Giansesi e Correia (2009) destacam que o projeto modular é a forma como as empresas podem aumentar a oferta de produtos diferentes ao cliente sem onerar a variedade de peças/componentes que os compõe.

Neste trabalho, as empresas analisadas possuem uma baixa variedade de produtos, mas uma alta variedade de peças. O primeiro estudo de caso, por exemplo, possui apenas 92 produtos diferentes. Mas, são mais de 1000 peças que fluem pelo chão-de-fábrica para formarem os produtos.

Portanto, neste trabalho alta variedade de peças está sendo considerada uma quantidade superior a 1000 itens. Ambientes com menor número serão considerados neste trabalho como de baixa variedade.

6.1 Modelo de Análise, Projeto e Implantação de *Layout*

O modelo proposto de projeto do *layout* pode ser dividido em 3 etapas principais, ver figura 39:

1. Levantamento e Análise da Situação Atual

2. Projeto da Situação Futura
3. Implantação e Acompanhamento

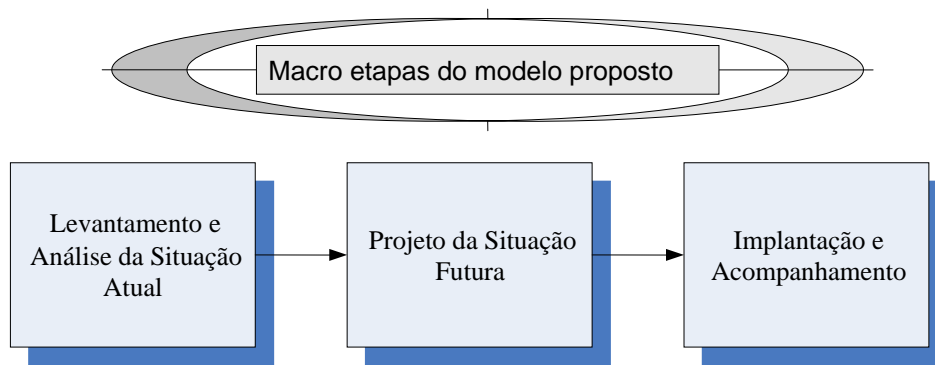


Figura 39 Macro etapas do modelo proposto de projeto de *layout*

O levantamento e análise da situação atual consistem no desenho do estado atual da empresa (da área em análise) e da identificação dos desperdícios e conseqüentemente, das possíveis oportunidades de melhorias.

O projeto da situação futura consiste no esboço de um cenário ideal para a empresa. Nesta etapa devem ser definidos os modelos de *layouts* a serem adotados para os diferentes fluxos de valores.

A última etapa compreende a formulação do plano de ações e a implantação e acompanhamento das mudanças realizadas.

Deve-se destacar que ao contrário do que muitas empresas têm realizado, o projeto do *layout* não deve ocorrer independente do projeto do fluxo de material e do sistema de controle. A simples reorganização dos equipamentos sem uma reestruturação dos fluxos de produção e dos sistemas de controle pode não gerar os benefícios esperados pela empresa. Por isso, a primeira etapa do modelo de projeto do *layout* envolve a análise dos fluxos de processo, informação e o sistema de controle.

Antes de apresentar o modelo de *layout* desenvolvido serão apresentadas algumas das premissas que nortearam a construção do modelo.

Como mencionado anteriormente o modelo de *layout* foi concebido para empresas com alta variedade de peças/produtos, ou seja, típicos ambientes onde existe uma dificuldade muito grande em se definir quais tipos de *layout* utilizar, o que normalmente impulsiona as empresas a utilizarem o modelo de *layout* funcional. Além disso, outros pontos como diferentes seqüências de processos, diferentes condições de demanda, impossibilitando o uso do *layout* celular foram considerados nesse modelo construído.

Na construção do modelo foi considerado também que, embora o ambiente fabril envolva uma grande variedade de peças e processos, com alta variedade de demanda, é possível identificar famílias de itens em termos, por exemplo, de demanda, ou seja, alguns itens possuem maior repetibilidade do que outros e podem ser agrupados em fluxos de valores específicos.

O modelo também possui a premissa de que é possível identificar produtos/itens *Best Sellers*, ou seja, produtos que trazem maior retorno à empresa. O *layout* final da fábrica tenderá a favorecer o fluxo de fabricação desses produtos. A tendência do modelo será identificar esses itens *Best Sellers* e privilegiá-los em termos de fluxo, buscando sempre que possível criar células para a fabricação dos mesmos.

A figura 40 apresenta as etapas de mudanças com o detalhamento das atividades de cada fase.

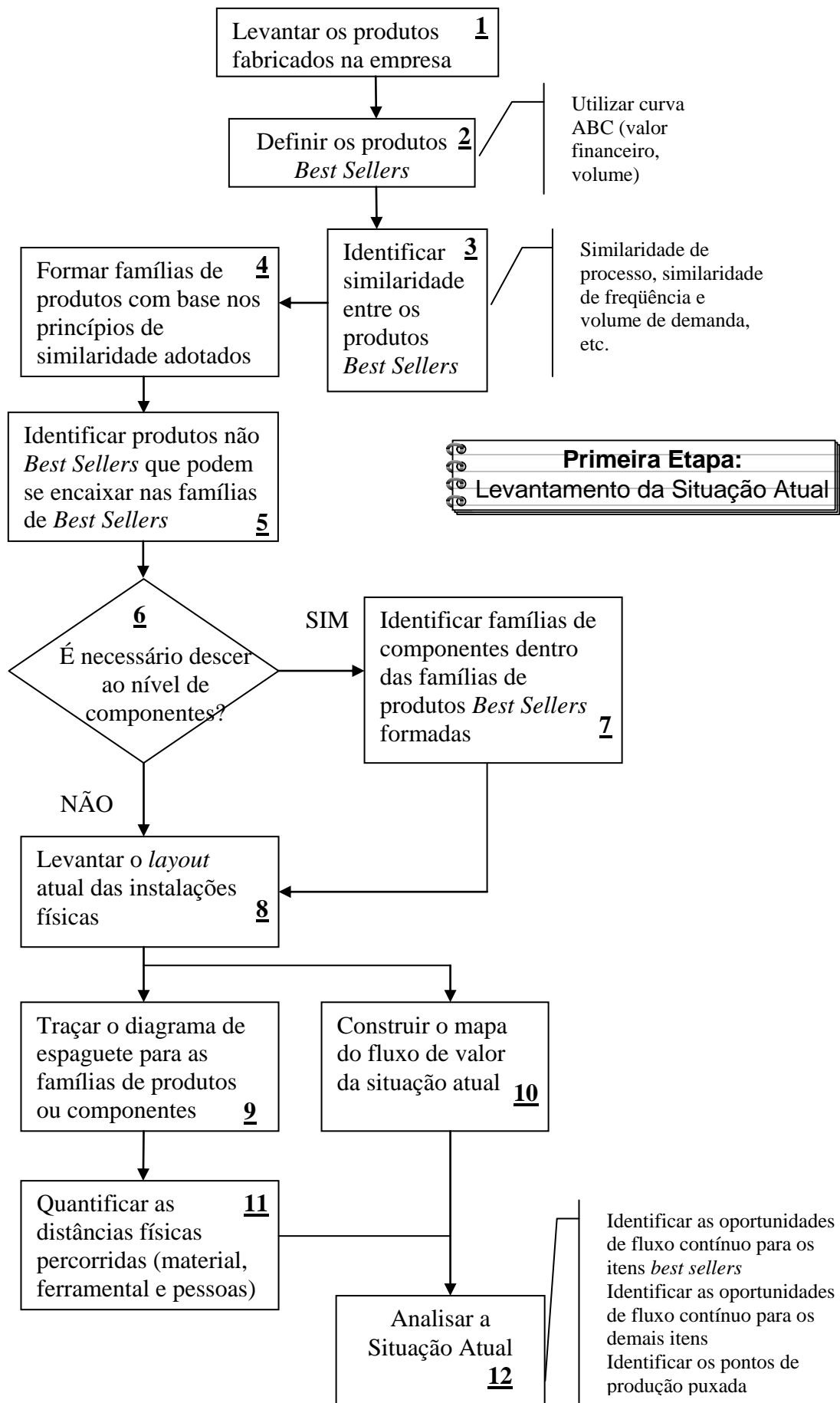


Figura 40 a Algoritmo da primeira etapa do modelo de análise e projeto de layout

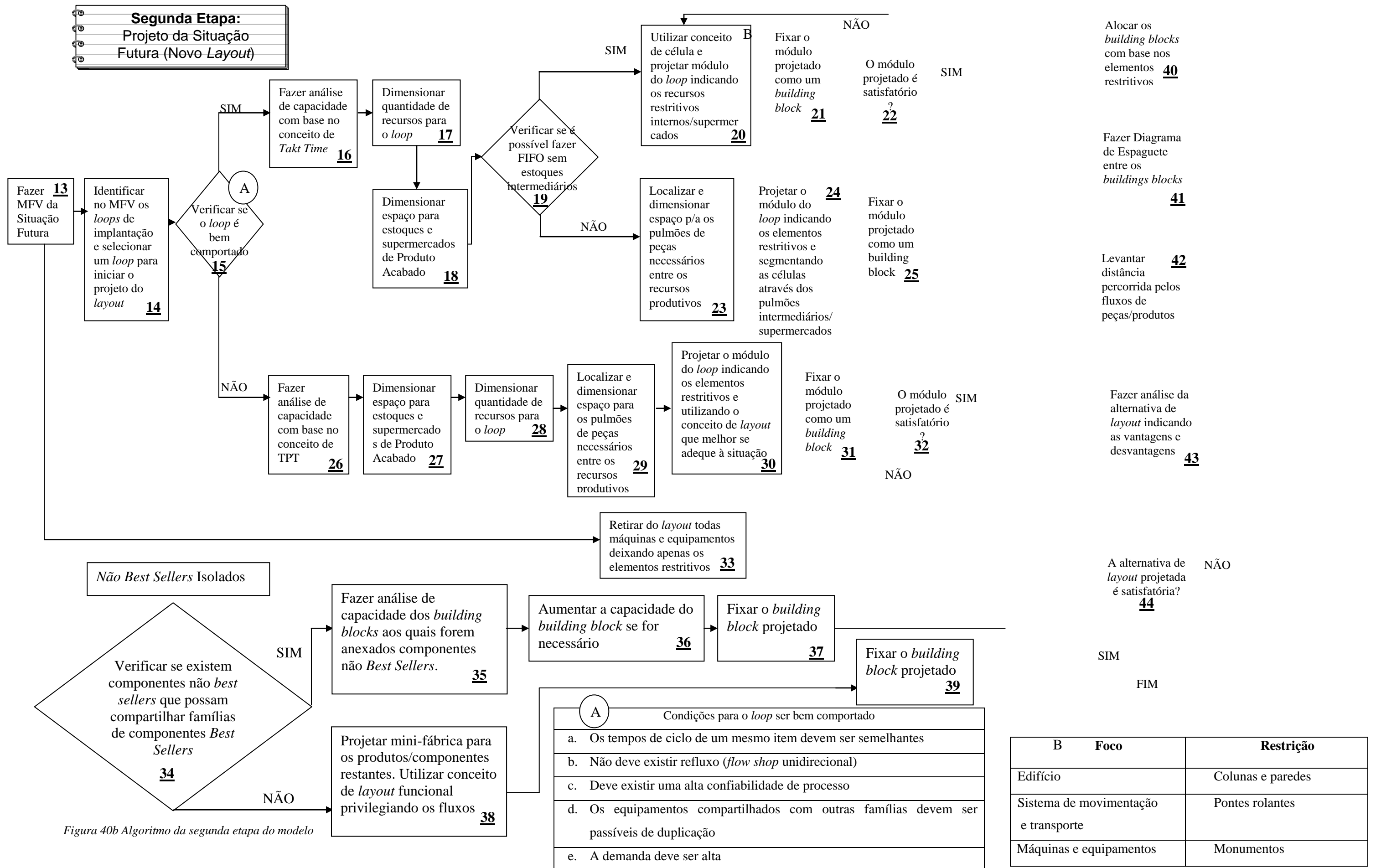


Figura 40b Algoritmo da segunda etapa do modelo

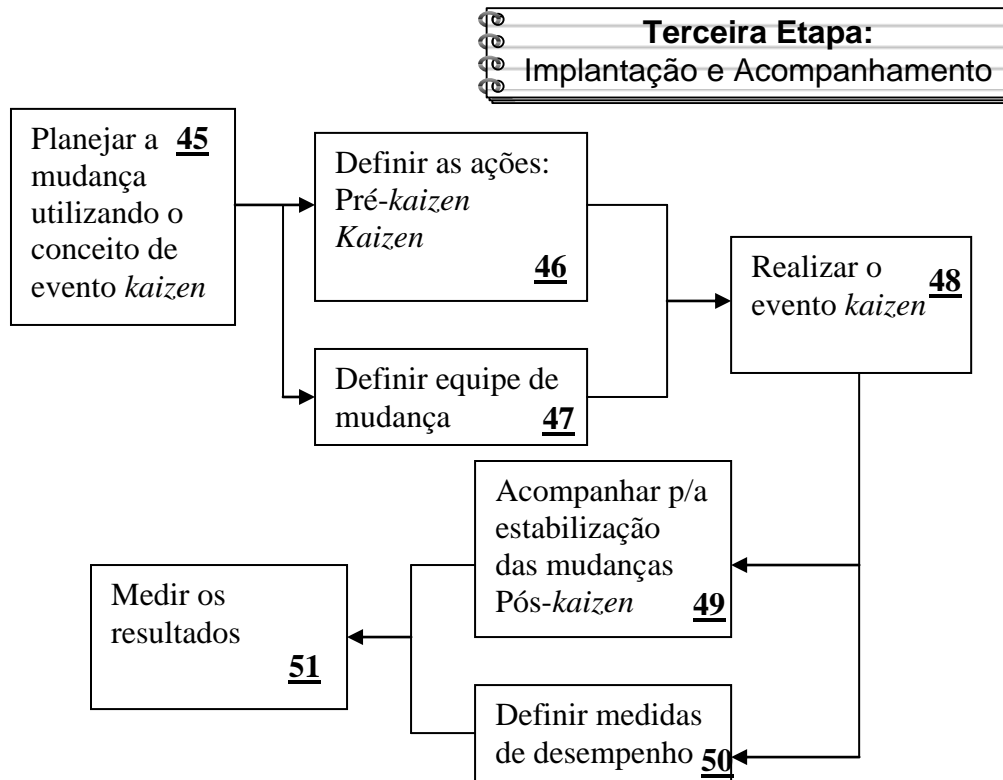


Figura 40 c Algoritmo da terceira etapa do modelo de análise e projeto de *layout*

A seguir, serão detalhadas as atividades apresentadas no modelo de projeto de *layout*.

6.2. Primeira Etapa: Levantamento da Situação Atual

As atividades dessa etapa de levantamento e análise compreendem:

1. Levantar os produtos fabricados na empresa: essa atividade envolve o levantamento de todos os produtos que a empresa fabrica.
2. Definir os produtos *best sellers*: são classificados como produtos *best sellers* aqueles com maior representatividade financeira ou mesmo de volume de produção na empresa. Uma forma de identificar esses produtos é utilizar a curva de Pareto.
3. Identificar as similaridades entre os produtos: essa atividade envolve a definição de alguns critérios de semelhança a serem adotados. Esses critérios servirão como base para definição das famílias de produtos e, posteriormente, de componentes. Nazareno, Silva e Rentes (2003) propõe três critérios de similaridade que podem ser utilizados:

Similaridade de processos: trata-se do principal critério, e se aplica a produtos que geralmente compartilham uma mesma linha de produção. Pode-se utilizar a matriz

produto x processo, ou produto x máquina, como ferramenta para identificar as similaridades de processos entre os produtos. O quadro 4 apresenta um exemplo de matriz peça-máquina.

| Produtos | Processos | | | | | |
|----------|-----------|--------|----------|--------|----------|-----------|
| | Cortar | Soldar | Rebarbar | Pintar | Montar I | Montar II |
| A | x | | x | x | x | x |
| B | x | | x | x | x | x |
| C | | x | x | | | x |
| D | | x | x | | | x |
| E | x | x | | | x | |
| F | x | x | | | x | |

Quadro 4 Matriz produto x Processos

Fonte: Quadro do autor

Como se pode observar os produtos A e B podem ser alocados em uma mesma família por possuírem processos semelhantes. Da mesma forma os produtos C e D e E e F podem ser alocados em duas famílias.

Frequência e volume da demanda: importante para a definição da política de atendimento da demanda (ATO - *Assembly-to-order*, MTS - *Make-to-stock*, MTO - *Make-to-order*, etc.), esse critério pode ser decisivo para a inserção ou retirada do produto de uma mesma família.

Tempo de ciclo do produto: é aconselhável que produtos que compartilhem uma mesma linha, mas que possuem tempos de ciclo muito diferentes sejam incluídos em famílias diferentes. Isto porque políticas para definição e dimensionamento de supermercados (peças e matéria-prima) e escolha dos sistemas de controle (*kanban*, duas gaveta, etc.) mais apropriados geralmente tendem a variar em função desse critério.

4. Formar famílias de produtos com base nos princípios de similaridade adotados: com base nos critérios de similaridade previamente definidos devem ser estabelecidas as famílias de produtos dos itens *best sellers*.
5. Identificar produtos não *Best Sellers* que podem se encaixar nas famílias de *Best Sellers*: em alguns casos produtos não *best sellers* podem ter, por exemplo, processos muito similares de produção aos dos produtos *best sellers*. Portanto, estes produtos podem ser alocados nas famílias de produtos *best sellers*, desde que,

não ocorra nenhuma interferência significativa no fluxo de produção dos itens *best sellers*.

6. Verificar se é necessário descer ao nível de componentes: dependendo da complexidade dos produtos fabricados pode ser necessário descer ao nível de componentes para se definir as famílias. Normalmente, isto ocorre quando os produtos são compostos por um número muito grande de peças com processos de fabricação muito distintos entre si.
7. Identificar as famílias de componentes: Caso exista a necessidade de formar famílias de componentes pode-se utilizar os mesmos conceitos anteriores de formação de famílias de produtos.
8. Levantar o *layout* atual das instalações: o levantamento do *layout* atual consiste no esboço da planta da empresa identificando os recursos de produção, corredores, pilares, etc.

9. Traçar o diagrama de espaguete: utilizando a planta baixa da empresa com o posicionamento das máquinas e equipamentos, deve-se traçar o caminho percorrido pelos materiais, pessoas e ferramental. A figura 41 apresenta um exemplo de diagrama de espaguete de uma empresa de produtos dentários.

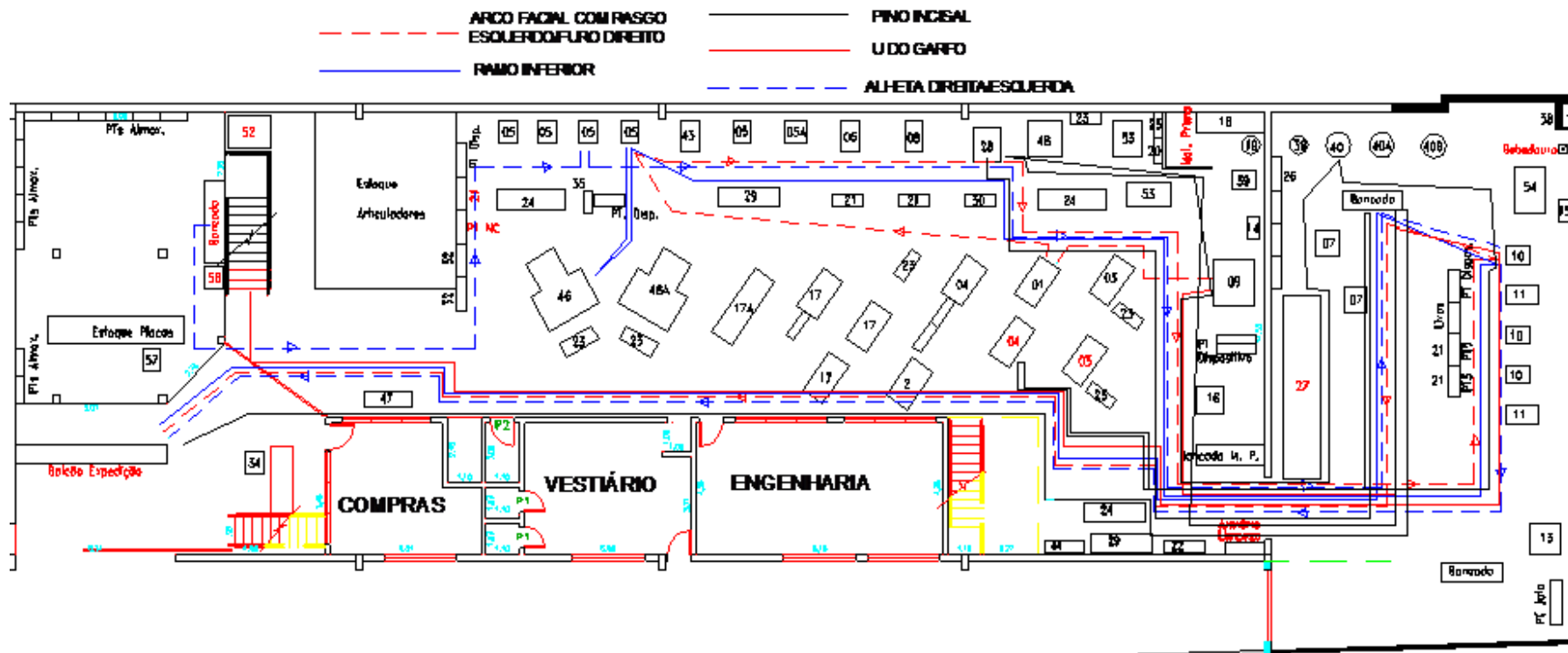


Figura 41 Exemplo de Diagrama de Espaguete

10. Construir o mapa da situação atual: Rother e Shook (1998) apresentam uma ferramenta para compreensão e análise da situação atual da empresa, o Mapa do Fluxo de Valor (MFV). Essa ferramenta auxilia na visualização dos problemas atuais da empresa e na construção de um cenário futuro ideal. Esse mapa pode ser construído paralelamente à atividade de esboço dos fluxos de produtos e materiais no *layout* da empresa. A figura 42 apresenta um exemplo didático de um Mapa do Fluxo de Valor.

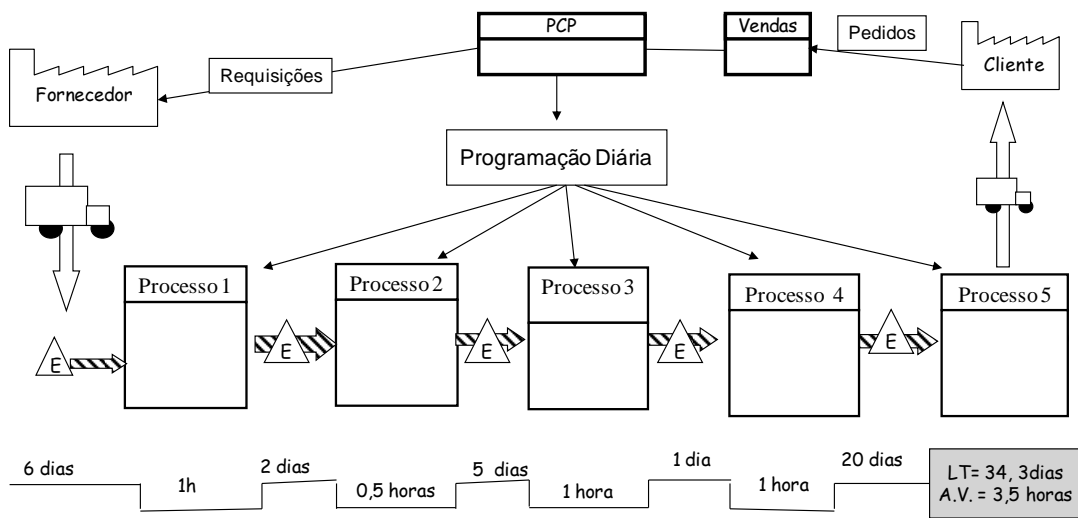


Figura 42 Exemplo didático de um Mapa do Fluxo de Valor

11. Quantificar as distâncias físicas percorridas: traçado o caminho percorrido pelos materiais, ferramentais e pessoas deve-se mensurar essas distâncias. As distâncias levantadas servirão como um dos principais parâmetros de análise das futuras propostas de *layout*. A tabela 4 apresenta um exemplo de planilha contendo as distâncias percorridas em uma empresa de equipamentos eletrônicos. Neste exemplo, os grupos 1, 2, 3, 4 e 5 representam famílias de peças, e as alternativas 1 a 4 representam alternativas de *layouts* formuladas.

Tabela 4 Exemplo de movimentações em um *layout*

| | Atual | Alternativa 1 | Alternativa 2 | Alternativa 3 | Alternativa 4 | |
|---------|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----|
| Grupo 1 | Materiais | 292 | 111 | 111 | 111 | 111 |
| | Ferramentas | 39 | 14 | 14 | 14 | 14 |
| | Pessoas | 554 | 211 | 211 | 211 | 211 |
| Grupo 2 | Materiais | 77 | 39 | 37 | 50 | 48 |
| | Ferramentas | 16 | 2 | 6 | 2 | 6 |
| | Pessoas | 146 | 75 | 70 | 94 | 92 |
| Grupo 3 | Materiais | 113 | 64 | 68 | 66 | 79 |
| | Ferramentas | 17 | 3 | 8 | 4 | 8 |
| | Pessoas | 215 | 122 | 129 | 126 | 151 |
| Grupo 4 | Materiais | 41 | 46 | 37 | 51 | 41 |
| | Ferramentas | 46 | 13 | 9 | 11 | 9 |
| | Pessoas | 79 | 87 | 71 | 96 | 78 |
| Grupo 5 | Materiais | 36 | 25 | 28 | 34 | 28 |
| | Ferramentas | 94 | 28 | 32 | 35 | 32 |
| | Pessoas | 68 | 48 | 53 | 65 | 53 |
| Total | 1833 Km | 889 Km | 883 Km | 970 Km | 961 Km | |
| Km/ mês | 262 | 127 | 126 | 139 | 137 | |

12. Realizar análise crítica da situação atual: a análise da situação atual consiste no levantamento, através do mapa do fluxo de valor e dos diagramas de espaguete, dos desperdícios existentes. O resultado dessa atividade deve ser:

- Identificação de oportunidades de fluxo contínuo para os itens *best sellers*.
- Identificação dos potenciais pontos de produção puxada.
- Identificação dos potenciais sistemas de controle, etc.

6.3. Segunda etapa: Projeto da Situação Futura (Projeto do novo *layout*)

A segunda etapa consiste na construção de um cenário ideal de produção. As atividades a serem realizadas nessa segunda fase do projeto são:

13. Fazer o mapa do fluxo de valor da situação futura: O mapa da situação futura consiste de uma representação do modelo ideal de produção para a empresa em análise. O mapa deve contemplar as oportunidades de fluxo contínuo, produção puxada, modelos de gestão visual, etc. Rother e Shook (1998) apresentam os passos a serem seguidos na construção do mapa futuro.
14. Identificar no MFV os *loops* de implantação e selecionar um *loop* para iniciar o projeto do *layout*: devido à complexidade em se analisar e alterar de forma simultânea todo um sistema de produção pode-se particionar o MFV em *loops*.

Dessa forma cada *loop* pode ser analisado e implantado individualmente. A de quais etapas de um processo o *loop* irá conter dependerá da equipe de projeto. Recomenda-se que o *loop* não contenha uma gama muito grande de processos para tornar mais simples e rápida a implantação do *loop*. Recomenda-se também iniciar a implantação pelos *loops* do final do fluxo de valor. A figura 43 apresenta um MFV com os respectivos *loops* de implantação.

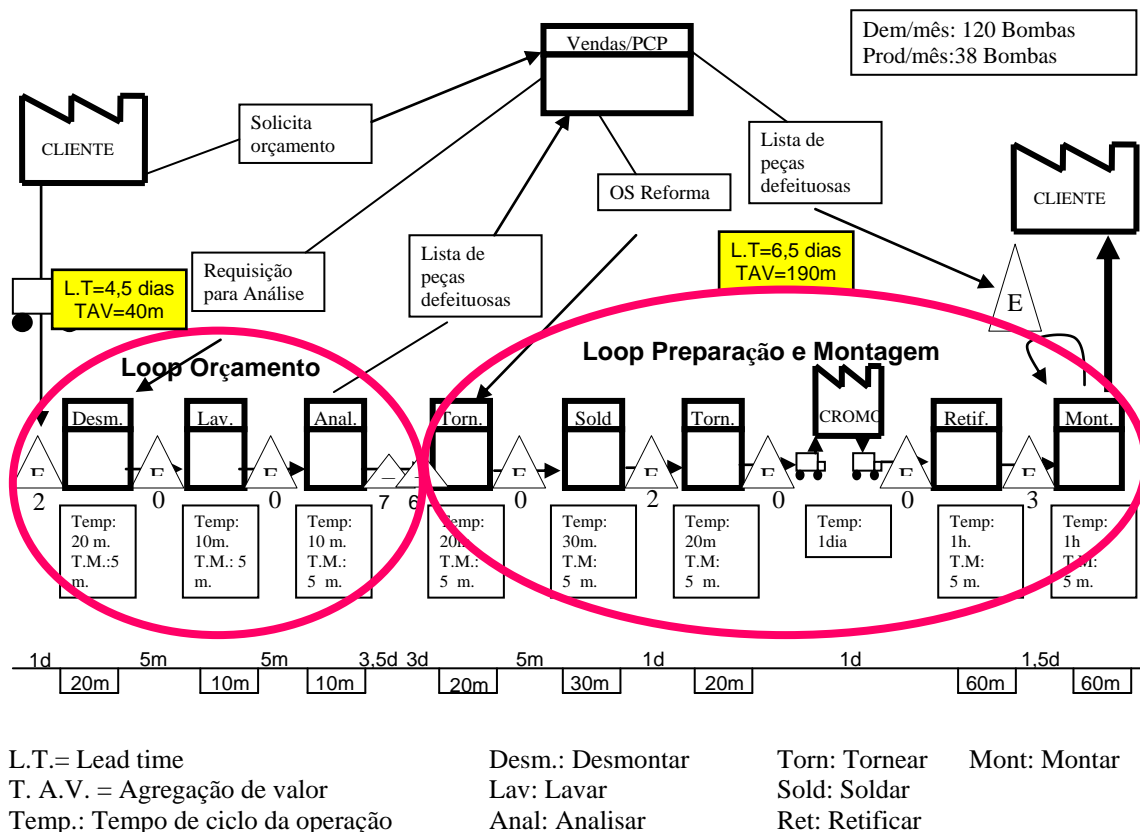


Figura 43 – Mapa do fluxo de valor de uma indústria de reforma de peças automotivas com os loops de implantação

Fonte: Figura do autor

15. Verificar se o *loop* é bem comportado: para que um *loop* possa ser definido como bem comportado este deve atender a cinco requisitos:

- Os tempos de ciclo de um mesmo item devem ser semelhantes.
- Não deve existir refluxo (*flow shop* unidirecional).
- Deve existir uma alta confiabilidade de processo.
- Os equipamentos compartilhados com outras famílias devem ser passíveis de duplicação.
- A demanda deve ser alta.

Neste ponto existem dois caminhos a serem percorridos: Projeto do *layout* para *loops* bem comportados e projeto do *layout* para *loops* não comportados. Inicialmente, serão descritas as atividades para projeto dos *loops* bem comportados. Posteriormente, as atividades para projeto do *loop* não comportado.

16. Fazer análise de capacidade com base no conceito de *takt time*: para situações em que o *loop* é bem comportado deve-se realizar uma análise de capacidade produtiva levando em consideração o conceito de *takt time*.
17. Dimensionar quantidade de recursos para o *loop*: com base na análise de capacidade realizada deve-se dimensionar a quantidade de recursos de produção necessários para atender a demanda de produtos fabricados naquele *loop*.
18. Dimensionar espaço para estoques e supermercados de Produto Acabado: Com base na demanda dos produtos deve-se dimensionar o espaço físico necessário para os estoques e supermercados de produtos acabados.
19. Verificar se é possível fazer FIFO sem estoques intermediários: neste ponto do projeto deve-se verificar a possibilidade de fazer um fluxo contínuo sem estoques intermediários, ou seja, um modelo ideal de produção. Para se conseguir fazer um fluxo contínuo sem estoques intermediários é necessário que o tempo de ciclo da operação seja menor ou igual ao *takt time*.

Novamente, o modelo neste momento se divide em dois caminhos. Portanto, a seguir será descrito o ramo do modelo considerando que seja possível fazer FIFO sem estoques intermediários.

20. Utilizar conceito de célula e projetar módulo do *loop* indicando os recursos restritivos internos / supermercados: após as análises realizadas deve-se projetar o módulo do *loop* utilizando o conceito de células de produção. Como apresentado anteriormente este é o modelo de *layout* que melhor se enquadra à Filosofia de Produção Enxuta. No projeto das células devem ser levados em consideração os elementos restritivos. Esses elementos são apresentados na tabela 5 a seguir:

Tabela 5 – Elementos restritivos

| Foco | Restrição |
|--------------------------------------|-------------------|
| Edifício | Colunas e paredes |
| Sistema de movimentação e transporte | Pontes rolantes |
| Máquinas e equipamentos | Monumentos |

Fonte: Gonçalves Filho (2005)

Quanto aos supermercados, neste caso, deve-se dimensionar espaço para os supermercados de matéria-prima antes da célula e de produto acabado depois da célula. Caso a célula seja o último processo de fabricação do produto o supermercado de produto acabado terá sido projetado na etapa 18.

21. Fixar o módulo projetado como um *building block*: *building block* refere-se ao *layout* do *loop* em análise. Após projetar o *layout* deve-se mantê-lo como um bloco. Posteriormente, o projeto do *layout* macro, ou seja, de todo fluxo produtivo, será realizado com base na movimentação das peças/produtos entre os *building blocks*.
22. Verificar se o módulo projetado é satisfatório: antes de se prosseguir na etapa de projeto do *layout* dos demais *loops* deve-se verificar se o *layout* projetado atende às necessidades do fluxo ou não. Alguns critérios podem ser levados em consideração como movimentação, flexibilidade, custo de implantação, entre outros. Caso o *layout* atenda, deve-se partir para o projeto do *layout* de outro *loop*, caso não, deve-se voltar à etapa 20 de projeto do módulo do *loop* e fazer uma nova alternativa de *layout*.

Até o momento foi analisada a situação de *loop* bem comportado, com possibilidade de fazer FIFO sem estoques intermediários. Para um *loop* bem comportado, com possibilidade de fazer FIFO mas com estoques intermediários, deve-se proceder da seguinte forma:

23. Localizar e dimensionar espaço para pulmões de peças necessários entre os recursos produtivos: dependendo das características do processo ou produto não é possível estabelecer um sistema FIFO para todos os produtos da família do *loop* em análise. Para alguns produtos pode ser necessário alguns pontos de pulmão de peças. Portanto, nesta etapa deve-se dimensionar o espaço requerido por esses pulmões internos ao processo.

24. Projetar o módulo do *loop* indicando os elementos restritivos e segmentando as células através dos pulmões/supermercados: Deve-se buscar utilizar o conceito de células e localizar espaço para os pulmões/supermercados necessários dentro do *loop*. A figura 44 mostra um exemplo de células separado por supermercados e pulmões.

Pulmão de peças ocorre entre dois processos com tempos de ciclo diferentes. Por exemplo, considere-se dois processos A e B, sendo o processo A com tempo de ciclo menor que o processo B e o fluxo de valor sendo de A para B. Pode-se, portanto, trabalhar um turno em A e gerar um pulmão de peças para que B trabalhe o turno junto com A e um turno a mais para consumir as peças geradas por A, visando atender ao *takt time*. Nesse caso, não existe nem um controle das peças entre os processos com cartão *kanban*.

No caso de um supermercado, existe um controle dos itens entre os processos através de um sistema *kanban* ou um sistema de gestão visual. Além disso, o supermercado normalmente contém um número maior de itens e uma quantidade maior de itens do que um pulmão de peças.

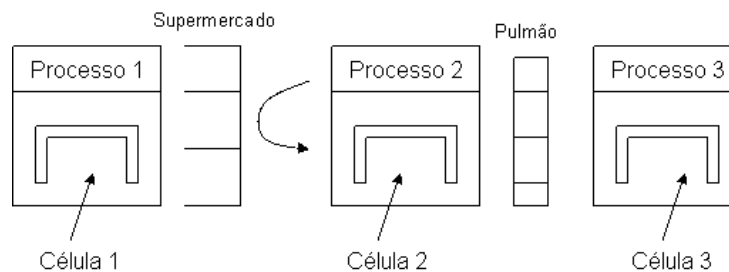


Figura 44 – Exemplo de células separadas por supermercado e pulmão de peças

25. Fixar o *layout* projetado como um *building block*: atividade descrita anteriormente. Por último deve-se verificar se o módulo projetado é satisfatório. Atividade esta também já descrita anteriormente.

Essas foram as etapas para projeto do *layout* de um *loop* bem comportado. Para o caso de um *loop* não comportado têm-se as seguintes atividades de projeto do *layout*:

26. Fazer análise de capacidade com base no conceito de TPT: TPT refere-se ao tempo necessário para se produzir todos os tipos de peças de um determinado fluxo de valor, ver Rother e Shook (1998). A impossibilidade de se fazer um fluxo contínuo

e unitário leva a necessidade do uso do conceito de TPT. Para o cálculo do TPT pode-se utilizar a tabela 6 a seguir.

Tabela 6 Cálculo do TPT

| Dimensionamento do TPT | | | | | | | | | | |
|------------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-------------|----------------------------------|---|-------------------|-----------------------------|---------------------------------|-----|
| Cód. da peça | Demanda média semanal | Tempo processo da peça | Tempo Processo do lote | Tempo Setup | Tempo Total Disponível da Semana | Tempo Total do processo da Lote Semanal | Tempo Setup Total | Tempo Disponível para Setup | Quantidade de Ciclos por Semana | TPT |
| XYZ | A1 | B1 | A1 x B1 | C1 | D | A1xB1 + A2xB2 | C1 + C2 | D – (A1xB1+A2xB2) = E | E/(C1+C2) = F | 5/F |
| WST | A2 | B2 | A2 x B2 | C2 | D | | | | | |

Na tabela 6 o tempo total do processo do lote é a somatória do tempo de processo de todos os lotes. O mesmo se aplica ao tempo de *setup*, ou seja, é a somatória dos tempos de *setup* de todas as peças.

27. Dimensionar espaço para estoques e supermercados de Produtos Acabados: com base no TPT definido deve-se dimensionar o espaço necessário para os supermercados de Produtos Acabados.
28. Dimensionar quantidade de recursos para o *loop*: Essa atividade deve ser realizada utilizando agora o tempo necessário para produzir as peças dentro do TPT projetado.
29. Localizar e dimensionar espaço para os pulmões de peças necessários entre os recursos produtivos: Devido à impossibilidade de se estabelecer um fluxo contínuo e unitário de peças será necessário dimensionar espaços para o posicionamento dos estoques entre os processos de produção.
30. Projetar o módulo do *loop* indicando os elementos restritivos e utilizando o conceito de *layout* que melhor se adequa à situação em análise: devido à diversidade de fatores não há a possibilidade de se afirmar qual tipo de *layout* deve-se utilizar. Com base na experiência do autor, recomenda-se que sejam utilizados os conceitos de *layout* na seguinte ordem:
 - a. Primeiro: *layout* celular / *layout* reconfigurável.
 - b. Segundo: *layout* por produto.
 - c. Terceiro: *layout* modular/mini-fábrica.
 - d. Quarto: *Layout* posicional.

- e. Sexto: *layout* fractal.
- f. Oitavo: *layout* distribuído.
- g. Sétimo: *layout* funcional.

- 31. Fixar o módulo projetado como um *building block*: atividade já descrita.
- 32. Verificar se o módulo projetado é satisfatório: caso o *layout* do módulo seja satisfatório deve-se selecionar outro *loop* para análise. Senão, deve-se voltar à etapa de projeto do módulo.

As atividades realizadas anteriormente devem ser repetidas até a finalização do projeto do *layout* de todos os *loops* identificados no MFV futuro.

Paralelamente às atividades descritas algumas atividades para análise macro do *layout* devem ser realizadas. Essas atividades compreendem:

- 33. Retirar do *layout* todos os equipamentos e máquinas deixando apenas os elementos restritivos: o objetivo desta atividade é permitir a futura alocação dos *building blocks* com base nos elementos restritivos.

Finalizado o projeto do *layout* para os itens *Best Sellers* deve-se partir para análise do *layout* em relação aos itens não *Best Sellers*. Para os produtos não *Best Sellers* deve-se realizar as seguintes atividades:

- 34. Verificar se existem componentes que possam compartilhar famílias de componentes *Best Sellers*: essa análise pode ser realizada com base no princípio de similaridade de processos. Caso não existam componentes não *Best Sellers* que possam ser alocados a famílias de componentes *Best Sellers* deve-se partir para a atividade 38.
- 35. Fazer análise de capacidade dos *building blocks* aos quais forem anexados componentes não *Best Sellers*: identificados os itens que podem ser alocados nas famílias de *Best Sellers* deve-se realizar uma análise de capacidade do *building block*.
- 36. Aumentar a capacidade do *building block* se for necessário: Caso seja necessário deve-se inserir mais equipamentos para aumentar a capacidade do *building block*. Cabe apenas ressaltar que a inserção de componentes não *Best Sellers* não deverá alterar o *layout* do *building block* de forma a prejudicar o fluxo dos itens *Best*

Sellers. Novos equipamentos devem ser posicionados sem alterar de forma significativa o fluxo dos itens *Best Sellers*.

37. Fixar o *building block* projetado: atividade descrita anteriormente.
38. Projetar mini-fábrica para os produtos/componentes restantes. Utilizar conceito de *layout* funcional privilegiando os fluxos: para os itens restantes não *Best Sellers* deve-se projetar uma mini-fábrica que comporte todos esses produtos. Sugere-se que o *layout* da mini-fábrica seja funcional e que esteja disposto de acordo com o fluxo de produção da maioria das peças ou das peças mais importantes de acordo com critérios a serem adotados.
39. Fixar o *building block* projetado: atividade descrita anteriormente.

As etapas descritas, anteriormente, correspondem ao projeto isolado dos *building blocks*. Projetados todos os *building blocks* deve-se iniciar o projeto do macro *layout* da empresa. As atividades dessa etapa consistem:

40. Alocar os *building blocks* com base nos elementos restritivos: com base nos elementos restritivos identificados anteriormente deve-se posicionar os *building blocks* no *layout* macro. De acordo com a complexidade do *layout* podem ser utilizados *softwares* de alocação de departamentos para posicionar os *building blocks* formados ou, simplesmente o modelo de Muther já apresentado em capítulo anterior desse trabalho.
41. Fazer diagrama de Espaguete entre os *building blocks*: deve-se traçar o fluxo dos itens *best sellers* entre os *buildings blocks* projetados.
42. Levantar distância percorrida pelos fluxos de peças/produtos: com base no diagrama de Espaguete deve-se mensurar as distâncias percorridas pelos itens dentro da fábrica.
43. Fazer análise da alternativa indicando as vantagens e desvantagens: para a alternativa de *layout* formulada deve-se realizar uma análise crítica indicando os prós e contras. A avaliação da alternativa deve ser realizada com base em critérios a serem adotados. A seguir, são apresentados alguns critérios de avaliação:
 - Movimentação total da alternativa.
 - Custo de implantação da alternativa.
 - Viabilidade de se implantar a alternativa.
 - Tempo necessário para implantação da alternativa.

- Capacidade extra de produção que a alternativa reserva para crescimento de demanda.
 - Espaço que a alternativa contempla para futuras ampliações.
 - Flexibilidade da alternativa para absorção de novos produtos.
 - Dificuldade de gerenciamento visual dos *building blocks*.
 - Existência de fluxo contínuo, etc.
44. Verificar se a alternativa de *layout* é satisfatória: com base na avaliação crítica da alternativa a equipe de projeto deve decidir se a alternativa é satisfatória ou não. Caso não seja, deve-se voltar à etapa de realocação dos *buildings blocks*. Caso seja satisfatória deve-se passar à terceira etapa do projeto, a implantação.

6.4. Terceira etapa: Implantação e Acompanhamento

Essa última etapa envolve, basicamente, a definição do plano de ações e o acompanhamento e análise das mudanças efetuadas. As atividades a serem executadas nessa fase são descritas a seguir:

45. Planejamento da mudança utilizando o conceito de evento *kaizen*: essa atividade envolve a definição de um plano de mudanças. Quando se trabalha em um projeto de reestruturação do *layout*, dificilmente, existe a possibilidade de parar a fábrica para implantar as melhorias propostas. Portanto, um planejamento inicial macro da seqüência de implantação torna-se fundamental. E neste contexto, por ser indicado para situações *brown field* (mudanças com a fábrica em funcionamento) recomenda-se que seja utilizado o conceito de evento *kaizen*.
46. Definição das ações: definida a utilização do conceito de evento *kaizen* é necessário ainda estabelecer quais as ações que serão realizadas, antes e durante o evento *kaizen*, exemplo:
- a. Ações pré-*kaizen*: formar pulmões para não interferir no fluxo produtivo da empresa durante a semana do *kaizen*. Adquirir matéria-prima para confecção de prateleiras, carrinhos de movimentação, etc.
 - b. Ações durante o evento *kaizen*: treinar membros da equipe de *kaizen*, programar as tarefas a serem realizadas durante a semana, efetuar as tarefas programadas, realizar apresentação final para direção da empresa.
47. Definição da equipe de mudança: paralelamente à definição das ações devem ser definidas também as pessoas que farão parte do time de mudança (equipe *kaizen*).

Sugere-se que a equipe seja composta por pessoas de diversas áreas. Essa mescla da equipe permite que os futuros eventos *kaizens* tornem-se mais fáceis de serem implantados devido ao fato de ter pessoas que já participaram de eventos anteriores. Além disso, o envolvimento de pessoas de outras áreas pode trazer novos conceitos ao setor em mudança.

48. Realização do evento *kaizen*: como descrito, anteriormente, a duração do evento *kaizen* deve ser de 5 dias. O último dia deve contemplar a finalização das atividades e a apresentação para a diretoria da empresa. Além disso, devem-ser estabelecidas também as ações pós-*kaizen*, ou seja, atividades que não puderam ser realizadas durante o evento *kaizen*. É importante que as ações pós-*kaizen* tenham um cronograma pré-estabelecido de início e término das atividades.
49. Acompanhamento para estabilização das mudanças: efetuadas as mudanças propostas deve haver um período de acompanhamento para estabilização das melhorias realizadas. Esse acompanhamento envolve a orientação dos funcionários quanto aos novos conceitos de produção, programação da produção, etc. Neste período, deverá ser realizada também as ações pós-*kaizen* especificadas durante o evento *kaizen*.
50. Definição das medidas de desempenho: paralelamente ao acompanhamento das mudanças implantadas deve estabelecer um conjunto de medidas de desempenho para avaliar a evolução das melhorias ao longo do tempo. Diversas medidas podem ser utilizadas, como:
 - Nível dos estoques em processo
 - Organização e limpeza do ambiente
 - Produtividade do setor, etc.
51. Medição dos resultados: utilizando as medidas de desempenho formuladas deve-se medir ao longo do tempo os resultados alcançados.

A seguir, serão apresentados dois estudos de casos de aplicação do modelo de projeto de *layout* proposto. Inicialmente, será apresentada a aplicação em uma empresa de componentes usinados e soldados para tratores. Posteriormente, será apresentada a aplicação do modelo em uma empresa de fabricação de turbinas.

CAPÍTULO 7

7. Estudo de Caso: Empresa de Componentes Soldados.

A seguir, será apresentado o primeiro estudo de caso, onde foi aplicado o modelo proposto de projeto de *layout*.

7.1 Apresentação da empresa.

O estudo de caso foi desenvolvido em uma empresa de usinagem e soldagem de componentes para tratores. A empresa possui duas unidades fabris distintas. Uma localizada em São Bernardo do Campo e outra localizada em Diadema.

Inicialmente, os equipamentos de produção estavam dispostos de maneira funcional em ambas as plantas. O objetivo do trabalho foi com a aplicação do modelo de projeto de *layout* proposto, reestruturar o *layout* e minimizar a movimentação de materiais e pessoas internamente e entre as unidades fabris. A figura 45 apresenta fotos de alguns dos principais produtos fabricados.

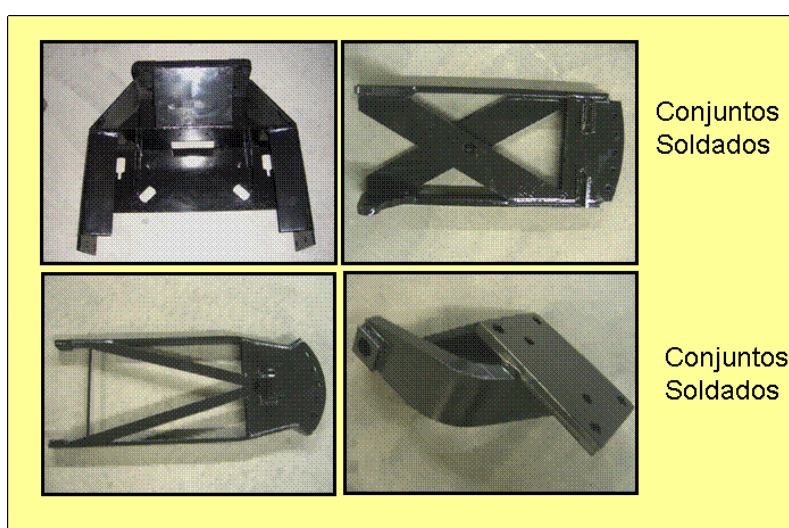


Figura 45 fotos de alguns dos produtos

A seguir, será apresentada a aplicação do modelo proposto na fábrica de Diadema.

7.2 Primeira Etapa – Levantamento da Situação Atual

Baseado no método, a primeira etapa consistiu num levantamento e na análise da situação inicial da empresa. O detalhamento das atividades é apresentado a seguir. Os números das atividades estão de acordo com a numeração do modelo desenvolvido.

(1) Levantar os produtos fabricados na empresa.

A tabela 7 apresenta a relação de todos os produtos fabricados na unidade em Diadema. O código PA indica “produto acabado” e os números que o acompanham indicam o tipo de produto.

Tabela 7 relação dos produtos fabricados

| Relação dos produtos fabricados | | | | | |
|---------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| PA00146 | PA00102 | PA00127 | PA00205 | PA00220 | PA00S34 |
| PA0064 | PA00073 | PA00075 | PA00206 | PA00221 | PA00S35 |
| P100117 | PA00074 | PA00077 | PA00207 | PA00222 | PA00236 |
| P1A00114 | PA00120 | PA00118 | PA00208 | PA00223 | PA00237 |
| PA00126 | PA00071 | PA00112 | PA00209 | PA00261 | PA00262 |
| PA00065 | PA00072 | PA00115 | PA00210 | PA00245 | PA00244 |
| PA00106 | PA00076 | PA00113 | PA00211 | PA00224 | PA00238 |
| PA00109 | PA00036 | PA00200 | PA00246 | PA00225 | PA00239 |
| PA00095 | PA00248 | PA00201 | PA00212 | PA00226 | PA00240 |
| PA00122 | PA00249 | PA00202 | PA00213 | PA00227 | PA00241 |
| PA00268 | PA00250 | PA00203 | PA00214 | PA00228 | PA00242 |
| PA00269 | PA00251 | PA00258 | PA00215 | PA00229 | PA00243 |
| PA00270 | PA00255 | PA00259 | PA00216 | PA00230 | |
| PA00273 | PA00256 | PA00260 | PA00217 | PA00231 | |
| PA00274 | PA00257 | PA00247 | PA00218 | PA00232 | |
| PA00264 | PA00263 | PA00204 | PA00219 | PA00233 | |

(1.1) Porque é considerado um ambiente com alta variedade de peças?

Uma pergunta que surge em relação a quantidade de produtos fabricados é: porque a fábrica foi classificada como contendo uma alta variedade de peças e possui apenas 92 produtos?

O que se observa é que os produtos são compostos por inúmeras peças. Por exemplo, a tabela 9, que será apresentada mais à frente no tópico 6, mostra a lista de peças de uma família de produtos. Neste caso a família é composta por 35 peças que formam 7 produtos diferentes. Logo, considerando o total de peças fabricadas que compõe os 92 produtos, tem-se mais de 1000 tipos diferentes de peças. Portanto, considerou-se como um ambiente de alta variedade de peças.

(2) Definir os produtos *Best Sellers*.

Dentro do rol de produtos levantados foi realizada uma análise ABC para identificar quais eram os produtos de maior expressividade financeira para a empresa. A tabela 8 apresenta a relação dos produtos *best sellers* e a representatividade financeira desses em relação ao valor total.

Tabela 8 Análise ABC para os produtos fabricados

| Código | % | Código | % |
|---------|------|---------|------|
| PA00146 | 14,9 | PA00074 | 81,5 |
| PA00164 | 25,3 | PA00120 | 84,4 |
| PA00117 | 32,6 | PA00071 | 87,2 |
| PA00114 | 40 | PA00072 | 89,9 |
| PA00126 | 46,9 | PA00076 | 92,4 |
| PA0065 | 53,2 | PA00093 | 94,6 |
| PA00106 | 58,9 | PA00127 | 95,9 |
| PA00109 | 62,8 | PA00075 | 96,9 |
| PA00095 | 66,7 | PA00077 | 98 |
| PA00122 | 70,6 | PA00090 | 98,9 |
| PA00102 | 74,5 | PA00112 | 99,7 |
| PA00073 | 78 | PA00115 | 99,9 |
| | | Demais | 100 |

(3) Identificar similaridade entre os produtos.

Os produtos fabricados possuíam um alto grau de similaridade de processo. Para definição de famílias foram adotados então os seguintes critérios com relação às características de processo:

- Possuir etapas de fabricação realizadas em terceiros.
- Possuir a etapa de furação antes de realizar a operação de jateamento.
- Não possuir nenhuma das características anteriores.

(4) Formar famílias de produtos com base nos princípios de similaridades adotados.

Com base nos critérios adotados foram definidas três famílias de produtos:

- Família A – Chassi (Não sofre operação em terceiro e não tem operação de furação imediatamente anterior ao jateamento).
- Família B – Pára-choques e Suportes Dianteiros (Possui operações em terceiros).

- Família C – Suportes (Possui operação de furação imediatamente anterior ao jateamento).

(5) Identificar produtos não *Best Sellers* que podem se encaixar nas famílias de *Best Sellers*.

Para todos os produtos o fluxo de processo consistia dos três padrões de fluxo identificados. Portanto, os demais itens restantes foram distribuídos entre as famílias de *Best Sellers*.

(6) É necessário descer ao nível de componentes?

Nesse caso, devido à simplicidade do produto e a similaridade de processo não foi necessário descer ao nível de componentes.

A tabela 9 apresenta apenas como exemplo, a lista de componentes gerais que formam a família A. Como se pode notar os produtos são bastante simples e, além disso, não existe quase compartilhamento de componentes entre os produtos.

Tabela 9 Lista de componentes dos produtos da Família A

| Listagem de Peças Componentes da Família A - Diadema | | | | | | | | | | |
|--|----------------|------|------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Cod. | Descrição | Freq | Fornecedor | PA00164 | PA00065 | PA00126 | PA00146 | PA00095 | PA00073 | PA00074 |
| 80436800 | Barra Lateral | 2 | Magno | X | X | | | | | |
| 80494200 | Sup. Tras. | 2 | Eldorado | X | | | | | | |
| 80436900 | Sup. Diant. | 2 | Magno | X | | | | | | |
| 80436700 | Placa Sup. | 2 | Eldorado | X | X | | | | | |
| 80437000 | Placa | 2 | Eldorado | X | X | | | | | |
| 81557800 | Sup. Esq. | 1 | Eldorado | | X | | | | | |
| 81557900 | Sup. Direito | 1 | Eldorado | | X | | | | | |
| 81557700 | Chapa Front. | 2 | Magno | | X | | | | | |
| 83195600 | Barra | 1 | Magno | | | X | | | | |
| 217011 | Placa Sup. | 2 | Eldorado | | | X | | | | |
| 81135100 | Suporte | 2 | Magno | | | X | | | | |
| 83195400 | Ref. Furos | 2 | Magno | | | X | | | | |
| 83195500 | Viga Lateral | 2 | Magno | | | X | | | | |
| 83195300 | Ref. Central | 2 | Magno | | | X | | | | |
| 81454300 | Chapa Desg | 1 | Eldorado | | | | X | | | |
| 81454600A | Ref. Central | 1 | Eldorado | | | | X | | | |
| 81455300 | Viga Lateral | 2 | Magno | | | | X | | | |
| 81454900 | Ref. Traseiro | 1 | Magno | | | | X | | | |
| 81454500 | Chapa Inferior | 1 | Eldorado | | | | X | | | |
| 81454400 | Chapa Sup. | 1 | Eldorado | | | | X | | | |
| 81454100 | Braço | 2 | Eldorado | | | | X | | | |
| 81454600 | Ref. Central | 1 | Eldorado | | | | X | | | |
| 81455010 | Sup. Chassis | 1 | Magno | | | | X | | | |
| 80801800 | Pino Elastico | 2 | Fixoved | | | | X | | | |
| 80872500 | Chapa Front. | 1 | Eldorado | | | | | X | | |
| 80872700 | Reforço | 2 | Alpha | | | | | X | | |
| 80872600 | Barra | 1 | Magno | | | | | X | | |
| 80363600 | Chapa Lateral | 2 | Magno | | | | | X | | |
| 81139600 | Suporte | 2 | Eldorado | | | | | X | | |
| 81142400 | Reforço | 1 | Alpha | | | | | X | | |
| 80563200 | Base | 1 | Eldorado | | | | | | X | X |
| 80562800 | Sup. Direito | 1 | Magno | | | | | | X | |
| 80563300 | Reforço | 2 | Magno | | | | | | X | X |
| 80563000 | Ref. Lateral | 1 | Eldorado | | | | | | X | X |
| 80562900 | Sup. Esquerdo | 1 | Magno | | | | | | | X |

Portanto, para o projeto do *layout* utilizou-se o conceito de famílias de produtos. Os produtos que foram levados em consideração no projeto do *layout* de cada família são apresentados abaixo:

- Família A: constituída pelos modelos de Chassi: PA00164, PA0065, PA0073, PA0074, PA0095, PA00126, PA00146.
- Família B: constituída pelos modelos de Pára-choques e Suportes Dianteiros: PA00102, PA00106, PA00109, PA00114, PA00117, PA00122.
- Família C: constituída pelos modelos de suportes: PA0071, PA0072, PA0075, PA0076, PA0077, PA0090, PA0093, PA00112, PA00115, PA00120, PA00127.

(7) Identificar famílias de componentes dentro das famílias de produtos *Best Sellers* formadas.

Como mencionado anteriormente, devido ao fato do produto ser simples e os processos dentro da família serem muito semelhantes não foi necessário identificar famílias de componentes.

(8) Levantar o *layout* atual das instalações físicas.

Após a definição das famílias de produtos foram levantadas as dimensões físicas da fábrica. Com essas informações foi gerado um *layout* do estado atual (inicial) da empresa. A figura 46 apresenta o *layout* inicial da fábrica. Neste *layout*, existe uma área da fábrica destinada à fabricação de parafusos. Por ter processos independentes e não ser um item de expressividade financeira para a empresa, o produto não foi contemplado nesse projeto de melhoria do sistema produtivo.

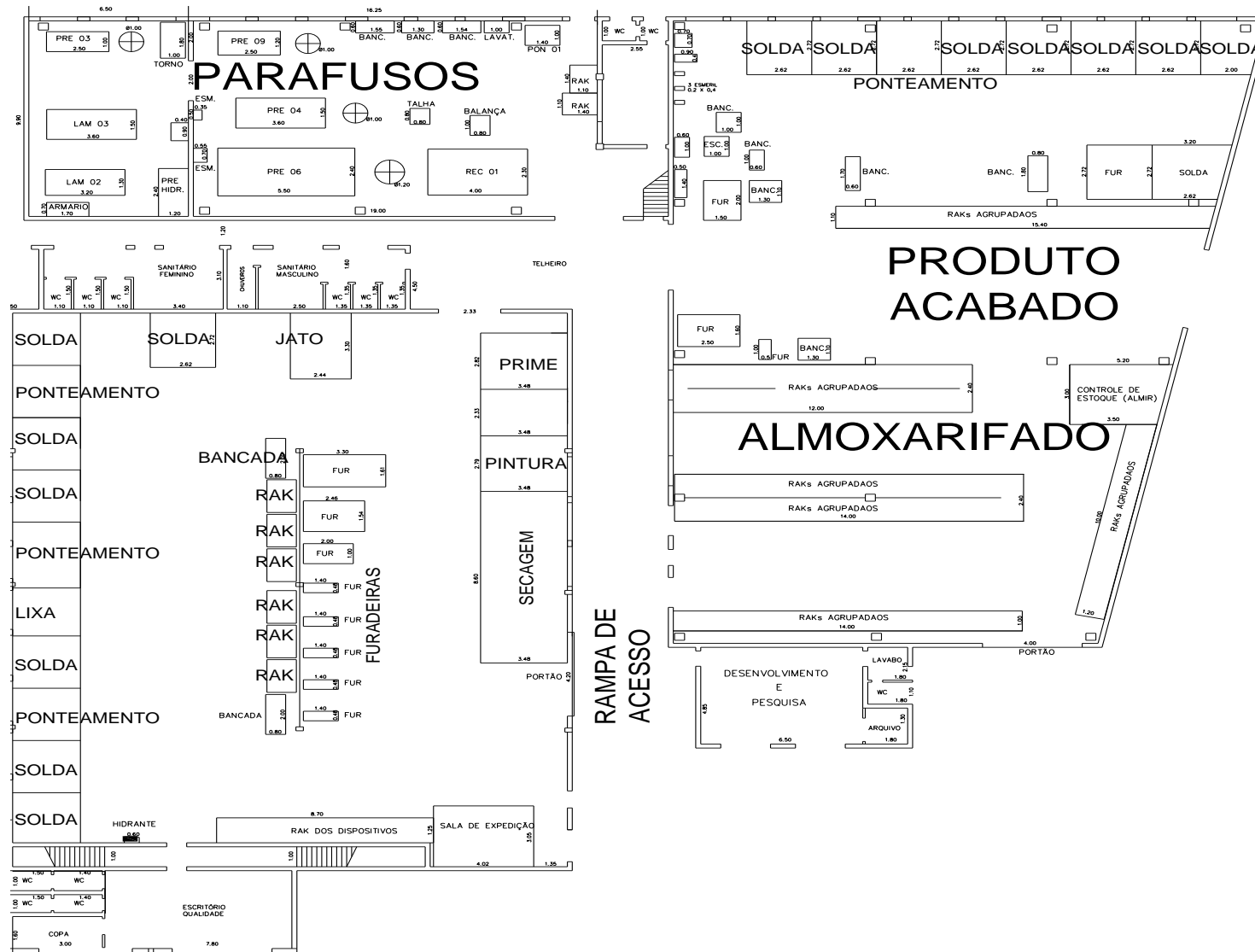


Figura 46 layout da unidade fabril em Diadema

Como se pode observar, os equipamentos estavam dispostos de forma funcional. Alguns problemas, inicialmente, identificados decorrentes do *layout* foram:

- Distanciamento entre os postos de trabalho gerando excessiva movimentação de operadores e produtos.
- Dificuldade de manter uma gestão visual da fábrica.
- Dificuldade em se identificar os gargalos do processo.

(9) Traçar o diagrama de Espaguete para as famílias de produtos ou componentes.

Levantados o *layout* da situação atual e os processos dos itens *best sellers* foram traçados os fluxos no *layout* (diagrama de espaguete). A figura 47 mostra o fluxo macro da família A na planta em Diadema e o fluxo entre as plantas de São Bernardo e Diadema.

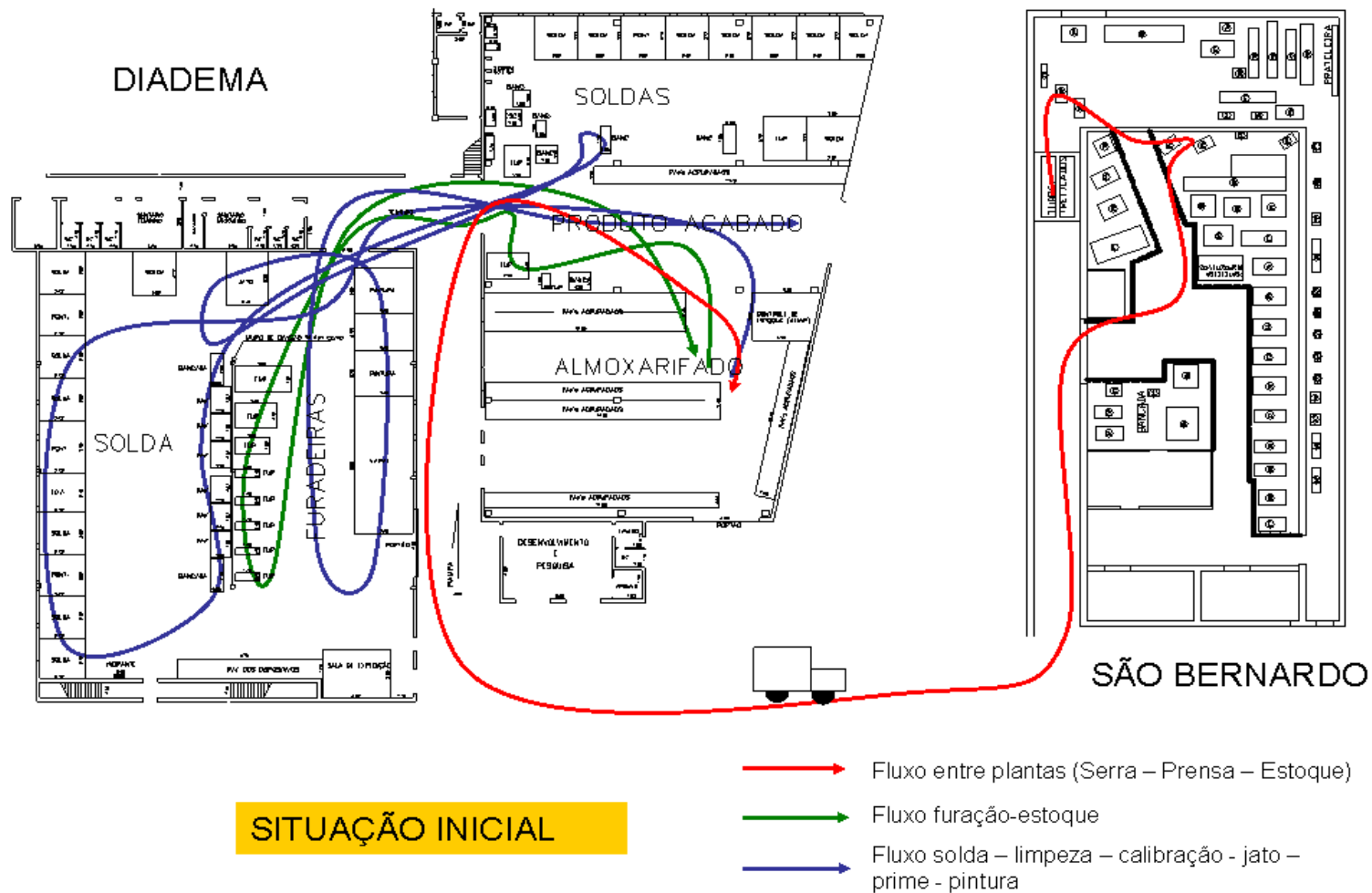


Figura 47 Diagrama de espagete do fluxo interno e da movimentação entre fábricas

Na figura 47 pode-se observar um fluxo entre as fábricas e um fluxo desordenado interno à fábrica de Diadema. Os principais problemas/desperdícios identificados em relação ao *layout* foram:

- Custo de movimentação: para movimentar o material entre as empresas eram utilizados caminhões para transporte.
- Esperas: com não pouca frequência os materiais a serem transportados ficavam parados aguardando a emissão de notas fiscais.
- Falta de peças: muitas vezes o processo de fabricação em Diadema parava aguardando a chegada de peças da unidade de São Bernardo.
- Excesso de carga e descarga: como o material não era entregue diretamente em Diadema havia duas operações extras no processo: uma de descarga e outra de carga. Caso o material fosse descarregado diretamente nas unidades de uso essas duas atividades extras seriam eliminadas.

Os diagramas de espaguete das famílias B e C são apresentados no Apêndice 1.

(10) Construir o mapa do fluxo de valor da situação atual.

A figura 48 apresenta o MFV atual (inicial) da família A, ou seja, não sofre operações em terceiros e não possui atividade de furação imediatamente anterior ao processo de jateamento. Como se pode observar existe uma grande disparidade entre o tempo de agregação de valor e o *lead time* de fabricação (77min e 53dias, respectivamente).

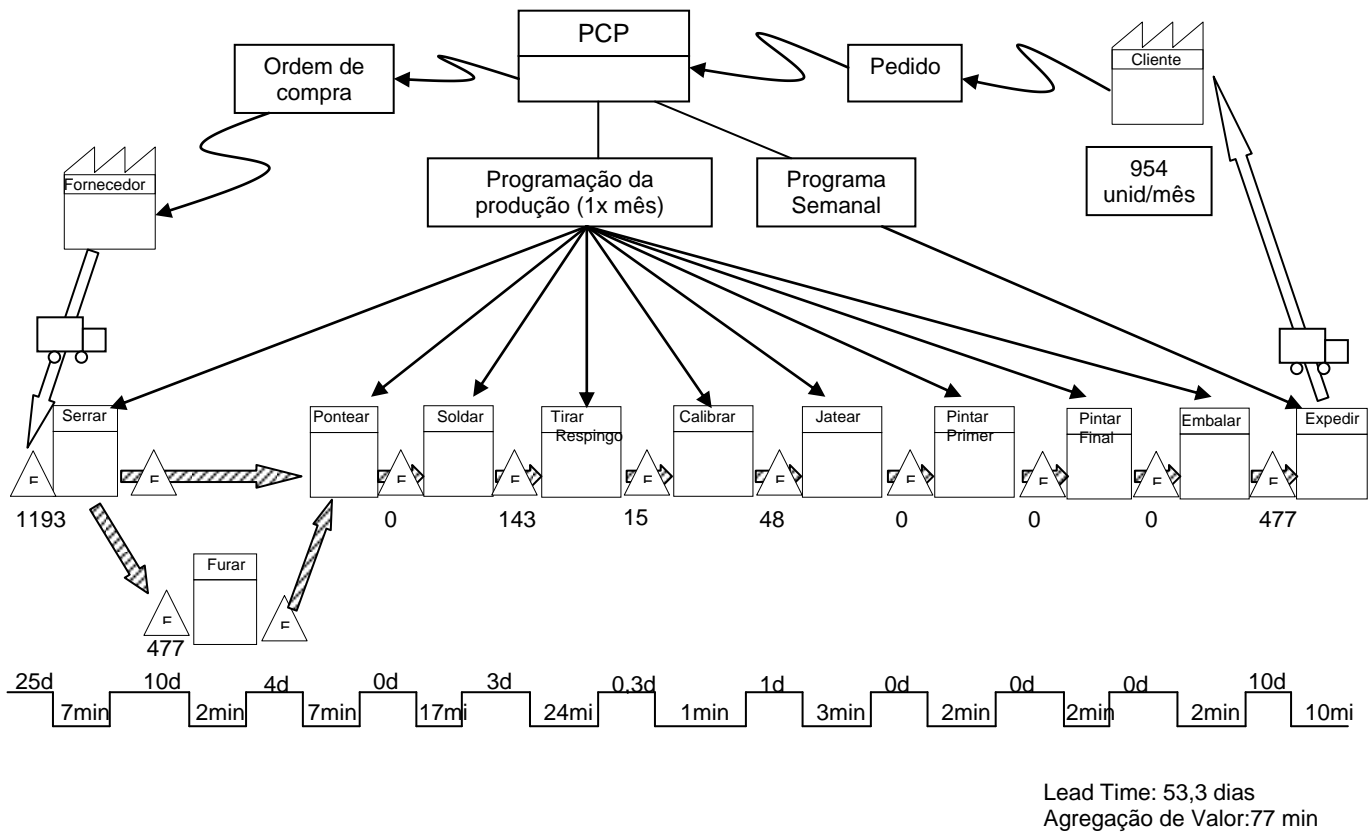


Figura 48 MFV macro da situação atual (inicial)

De acordo com o mapa, as ordens de produção estavam centralizadas no PCP. Com isso, era necessário programar a produção de cada item em cada posto de trabalho. Um dos problemas gerados era a dificuldade de priorização dos itens. Como o operador recebia várias ordens de produção acabava por ter dificuldade quanto à priorização.

Pode-se observar também que a produção era empurrada com inúmeros pontos de estoques ao longo de todo processo produtivo. Com isso, os tempos de fila eram excessivos. Novamente, a priorização dos itens tornava-se difícil pelo volume de peças/produtos aguardando serem processados.

Por último, como destacado anteriormente, existe um grande distanciamento entre o tempo de agregação de valor e o lead time total do processo.

(11) Quantificar as distâncias físicas percorridas (material, ferramental e pessoas).

Como se pode observar no diagrama de espaguete da figura 50 existia um fluxo de material entre as unidades fabris o qual deveria ser evitado. Além disso, o fluxo interno na unidade em Diadema, devido ao *layout* inadequado (*layout* funcional), causava um grande desperdício de movimentação. A tabela 10 apresenta o levantamento das distâncias percorridas na planta em Diadema.

Tabela 10 Distâncias percorridas pelos materiais e pessoas

| Fluxo das famílias | Distância percorrida (m) | |
|---------------------------|--------------------------|-------------|
| Fluxo 1 - FA | Materiais | 84 |
| | Pessoas | 168 |
| Fluxo 2 - FA | Materiais | 185 |
| | Pessoas | 370 |
| Fluxo 1 - FB | Materiais | 56 |
| | Pessoas | 112 |
| Fluxo 2 - FB | Materiais | 185 |
| | Pessoas | 370 |
| Fluxo 1 - FC | Materiais | 84 |
| | Pessoas | 168 |
| Fluxo 2 - FC | Materiais | 185 |
| | Pessoas | 370 |
| Movimentação Total | | 2337 |

Analisando a tabela 10 pode-se observar que para cada família existe um fluxo 1 e um fluxo 2. Isso porque todas as peças, sem exceção, saíam do almoxarifado, sofriam algumas atividades e retornavam a uma área de produtos semi-acabados. Posteriormente, essas peças eram novamente movimentadas às estações de trabalho e depois de serem processadas eram armazenadas no local de produtos acabados. Portanto, essa movimentação em cada família foi subdividida em dois fluxos. Com o desenvolvimento do projeto, um dos pontos de melhoria identificados, foi a eliminação dessa movimentação através da aproximação dos pontos de armazenagem dos locais de fabricação e consumo (supermercados).

Por último, em relação à tabela 10 deve-se destacar que a movimentação de pessoas é normalmente considerada como cerca do dobro da movimentação de materiais. Considera-se neste caso, que o operador leva a peça para o próximo posto de trabalho e depois retorna ao seu posto de trabalho.

(12) Analisar a Situação Atual (Inicial).

Através de uma análise dos mapas da situação atual e dos diagramas de espaguete pode-se identificar os seguintes problemas:

- Tempo de agregação de valor muito inferior ao *lead time*: através do mapa do fluxo de valor da situação atual pode-se identificar que o tempo de agregação de valor corresponde a apenas 0,3% do lead time de fabricação. Ou seja, existem inúmeros pontos onde o processo pára, gerando estoques e filas.

- Elevado acúmulo de estoques no processo: da observação do mapa do fluxo de valor pode-se visualizar inúmeros pontos de estoque em processo. Esses estoques além de representarem capital parado na empresa, também causavam, entre outros problemas, aumento da dificuldade de gerenciamento da priorização das ordens de produção. Quanto maior a quantidade de estoques no processo maior a dificuldade em se manter um sistema FIFO.
- Movimentação excessiva de pessoas e peças: como se pode observar na tabela 14 existia uma movimentação excessiva de pessoas e peças na fábrica. Devido ao peso de um lote de peças muitas vezes era necessário o uso de empilhadeira para a movimentação. Com isso, além da movimentação, existia um gasto de tempo excessivo por parte do operador para solicitar que o operador de empilhadeira se deslocasse à área e movimentasse o lote de peças fabricado.
- Fluxo pára em inúmeros pontos (não existência de um fluxo contínuo): como se observou não existia nenhum ponto onde o material fluía. Ao contrário, existiam muitos pontos onde de estoque em processo onde o tempo de fila era elevado. O desbalanceamento entre as operações e a falta de padrão de priorização de ordens eram algumas das fontes que geravam as paradas no fluxo de produção.
- Utilização de *layout* funcional: como pode ser observado na figura 48 o *layout* era funcional. Como mencionado anteriormente neste trabalho, o *layout* funcional corrobora para o aumento da movimentação das peças na fábrica.
- Movimentação de materiais entre unidades: o não recebimento de materiais provenientes dos fornecedores diretamente na unidade em Diadema causava a necessidade de movimentação de materiais entre as unidades. Com isso, existia um desperdício de tempo com carregamento e descarregamento de materiais em caminhões. Além disso, muitas vezes a unidade em Diadema parava por falta de material que havia sido descarregado em São Bernardo.

7.3 Segunda Etapa – Projeto da Situação Futura

Após a análise da situação atual passou-se à etapa de construção do *layout* futuro. A base para a construção da situação futura foram os problemas identificados, os quais estão descritos anteriormente.

(13) Fazer MFV da Situação Futura.

Levantados os potenciais pontos de melhorias foi construído um mapa do fluxo de valor do estado futuro. Esse mapa foi a referência para o planejamento das mudanças. O mapa do estado futuro é apresentado a seguir na figura 49. Esse mapa de fluxo de valor contempla as três famílias de produtos identificados. A linha de *lead time* é correspondente à família A de produtos.

No mapa pode-se identificar uma redução do *lead time* de 53 dias para 19 dias. No mapa futuro os pontos de estoque foram substituídos por supermercados ou mesmo eliminados através da criação de um fluxo contínuo no final do processo.

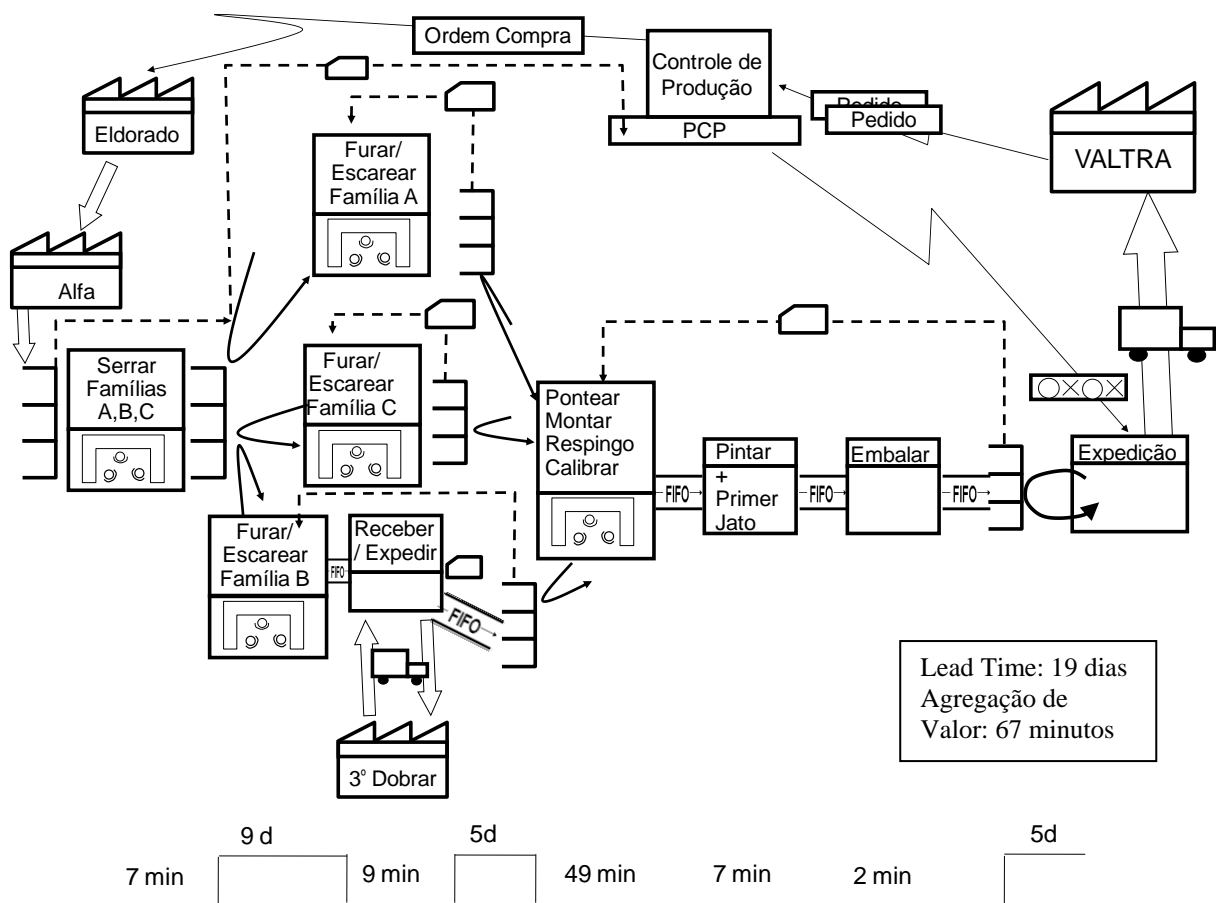


Figura 49 Mapa do estado futuro (Diadema)

A construção do mapa do fluxo de valor apresentado na figura 49 buscou eliminar os problemas identificados anteriormente. Para a construção do mapa do fluxo de valor futuro foram consideradas:

- Redução de lead time de 53 para 19 dias: essa redução de *lead time* foi possível devido à possibilidade de redução dos estoques em processo. Baseando-se no conhecimento das etapas de produção pode-se projetar um fluxo contínuo em algumas etapas do processo, eliminando assim os tempos de fila.
- Redução dos estoques em processo: a eliminação de parte do estoques em processo, projetado no mapa do fluxo de valor futuro, foi possível devido à possibilidade de se poder balancear as atividades dos processos de cada família de produtos.
- Implantação de fluxo puxado: nos pontos onde não era possível implantar fluxo contínuo foram colocados supermercados. Embora esses pontos sejam pontos de interrupção do fluxo o tamanho dos estoques passará a ser controlado, controlando assim o tempo de fila. Não foi possível implantar um fluxo contínuo porque nesse caso os processos posteriores referem-se a montagens e necessitam de modelos de peças diferentes. Por isso foi criado um supermercado.
- Criação de células de produção: como será demonstrado posteriormente, para as atividades de Pontear, Montar, Remover Respingos e Calibrar foi identificada a possibilidade de implantar células de produção.
- Redução de *setup*: embora não esteja explícito no mapa do fluxo de valor uma análise prévia da forma de conduzir o setup mostrou que essa operação poderia ser reduzida permitindo um fluxo contínuo entre algumas operações.
- Supermercado de produtos acabados: foi considerado a criação de um supermercado de produtos acabados de 5 dias como forma de segurança para atender aos pedidos dos clientes sem gerar atrasos.

(14) Identificar no MFV os *loops* de implantação e selecionar um *loop* para iniciar o projeto do *layout*.

Após a construção do mapa foram identificados os *loops* de implantação. Ou seja, o MFV foi seccionado em partes a serem analisadas e implantadas individualmente. A figura 50 apresenta os *loops* de implantação.

De acordo com a figura 50 foram identificados 6 *loops* de implantação. Deve-se apenas destacar que o *loop* 1 é um *loop* comum a todos os produtos.

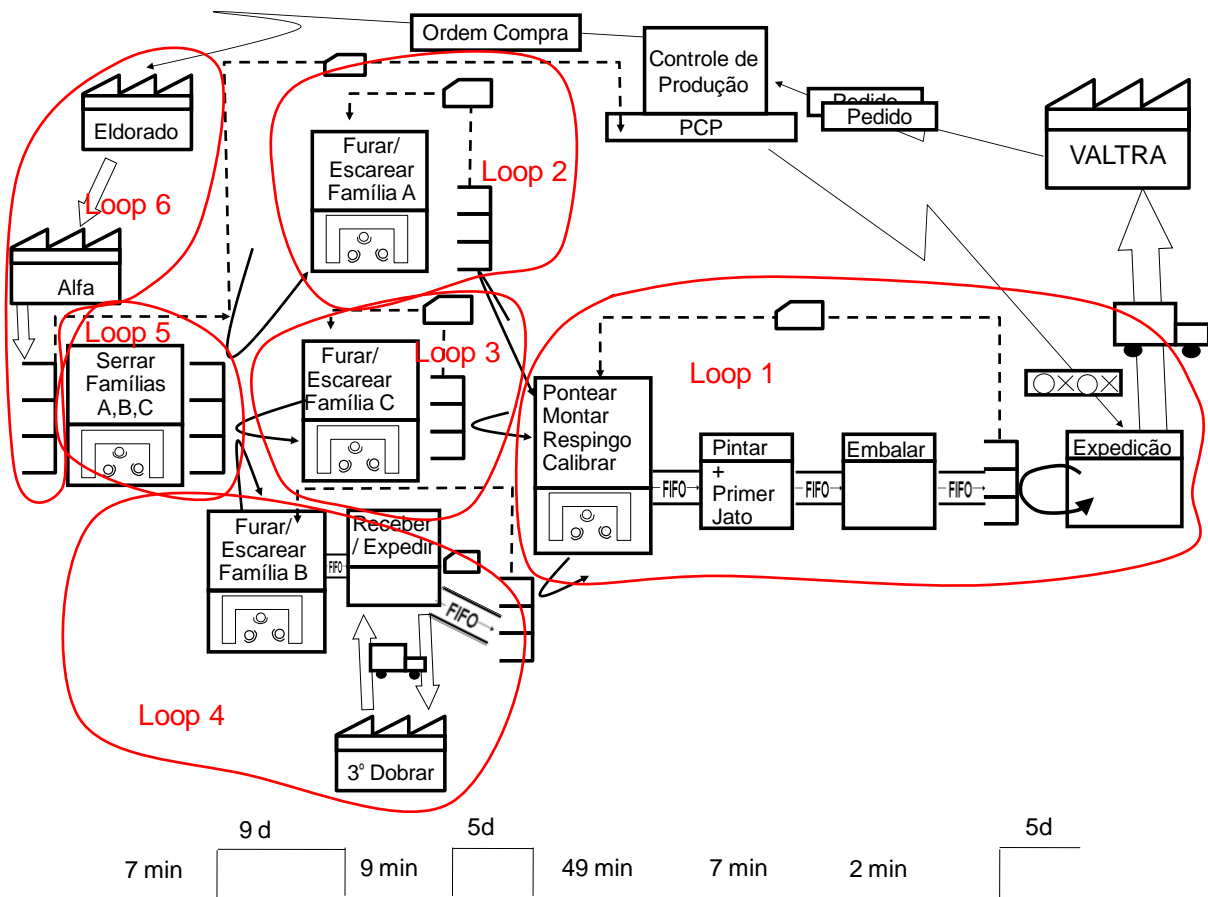


Figura 50 Loops de implantação identificados no MFV futuro

Os loops de implantação foram definidos com base nos pontos de supermercados. Cada loop contempla os processos de fabricação e um supermercado. Para iniciar o trabalho de projeto de layout foi selecionado o loop 1 porque esse loop era comum a todas as outras famílias e além disso o processo puxador pertencia a esse loop. Considerando a importância do loop optou-se por iniciar as atividades por este, porque todos os demais loops dependeriam do ritmo com o qual esse trabalhasse.

(15) Verificar se o loop é bem comportado.

Tendo por base os conceitos de definição de comportamento para loop, o loop de células de montagem pode ser definido como um loop bem comportado, ou seja:

- Os tempos de ciclo de um mesmo item são semelhantes.
- Existe a possibilidade de se estabelecer um fluxo unidirecional
- Existe uma alta confiabilidade de processo.
- Os equipamentos compartilhados com outras famílias eram estações de soldas as quais podiam ser facilmente duplicadas devido ao baixo custo.

- A demanda de peças é alta pois no *loop* passam as peças de todas as famílias.

(16) Fazer análise de capacidade com base no conceito de *takt time*.

Como se pode observar no MFV futuro o *loop* de montagem é comum para todas as famílias. O único ponto de distinção do *loop* é no início do processo nas atividades de Pontear, Soldar, Tirar Respingo e Calibrar. Neste caso, embora sejam atividades comuns estas tinham características específicas para as famílias. O cálculo do *takt time* abaixo se refere à família A. O *takt time* das demais famílias foi realizado de forma análoga.

$$\text{Takt Time} = \text{Tempo disponível} / \text{Demanda}$$

Tempo disponível: tempo disponível em um determinado período para fabricar determinada peça.

Demanda: demanda da peça no período em análise.

$$\text{Tempo disponível} = D \cdot H \cdot E \cdot U$$

D= dias úteis trabalhados no período.

H= horas trabalhadas por turno.

E= índice de eficiência

U = tempo de utilização de máquina para a peça em análise

$$\text{Tempo disponível} = 1 \cdot 8.8(\text{h}) \cdot 60 (\text{min}) \cdot 0.8 (\text{eficiência}) \cdot 1 = 422 \text{ min}$$

$$\text{Demanda diária} = 48 \text{ peças}$$

- 1 dia– Período considerado.
- 8.8 hs – Corresponde ao número de horas trabalhadas por turno.
- 60 min – Corresponde ao fator de conversão do tempo para minutos.
- 0,8 – Corresponde ao índice de eficiência.
- 48 peças – Corresponde à demanda no período
- 1 – Tempo de utilização (100% dedicado à família no processo gargalo)

$$\text{Takt time} = 422 / 48 = 8.8 \text{ min}$$

Portanto, para a família A é necessário que o processo tenha a capacidade de produzir uma peça a cada 8.8 minutos.

Analisando os tempos de processo pode-se observar que apenas dois processos excedem o *takt time*, o processo de soldar(montar) e o de tirar respingo. A figura 51 a seguir apresenta um comparativo entre os tempos de ciclo e o tempo *takt* da família A.

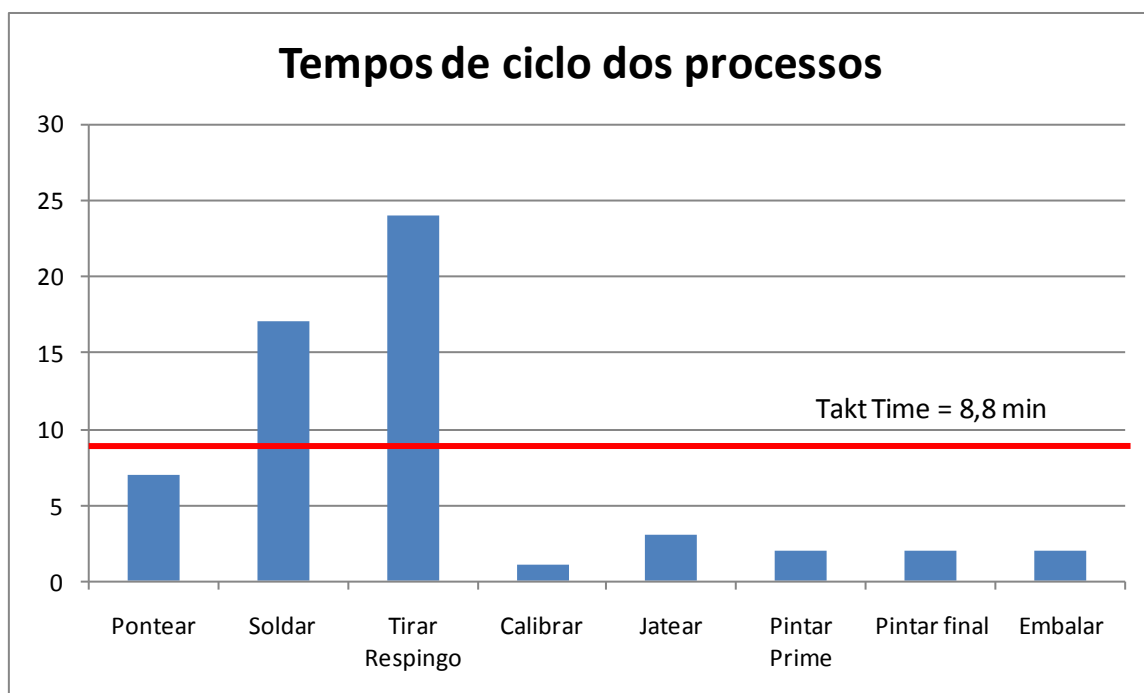


Figura 51 tempos de ciclos comparado com o tempo *takt*.

Os processos finais do *loop* (Calibrar, Passar Prime, e Pintar) tem um tempo de processo menor do que o *takt*. Essas operações não são gargalos e, portanto, não impedem a formação de um fluxo contínuo.

(17) Dimensionar quantidade de recursos para o *loop*.

Com base na análise de capacidade realizada na etapa anterior algumas ações foram tomadas para balancear os tempos de processo e atingir o *takt*.

- Ação 1: Duplicação das estações de solda: como o tempo de solda era de 17 minutos considerou-se que seria necessário duas estações de solda para se conseguir atingir o tempo *takt*.
- Ação 2: Eliminação do tempo de *setup*: para realizar o *setup* o operador dispensava muito tempo para procurar os ferramentais que estavam em local inadequado.

Além disso, era necessário requisitar o auxílio de empilhadeiras ou de outros operadores porque muitos dos ferramentais eram muito pesados. A construção de dispositivos de movimentação de ferramentais, o seqüenciamento da produção, a utilização de um abastecedor e a criação de dispositivos de *setup* rápido foram ações que reduziram o tempo de setup de 30 minutos para 5 minutos.

- Ação 3: Redução do tempo de remoção de respingo e calibração: o tempo alto de remoção de respingos de solda era fruto da demora em se retirar esses após a operação de solda. Os respingos gerados no processo de soldagem esfriavam depois de permanecerem muito tempo em contato com a peça e tornavam-se difíceis de serem removidos. A simples organização do fluxo, possibilitando que os respingos fossem retirados imediatamente após terem sido soldados, reduziu o tempo da atividade para 10 minutos. Mas, para se atingir o tempo *takt* foi necessário utilizar dois operadores na atividade de remoção de respingo.
- Ação 4: Junção das atividades de remoção de respingo e calibração: como o processo de remoção de respingo passou a ter dois operadores e a atividade de calibração era muito rápida essa foi acoplada ao processo de remoção de respingo.

O gráfico das atividades balanceadas é apresentado na figura 52 a seguir. O gráfico apresenta duas linhas de *takt*. A linha com *takt* de 8,8 minutos corresponde ao *takt* do *loop* em análise. A linha com *takt* de 3,8 minutos corresponde ao *takt* na linha de equipamentos comuns.

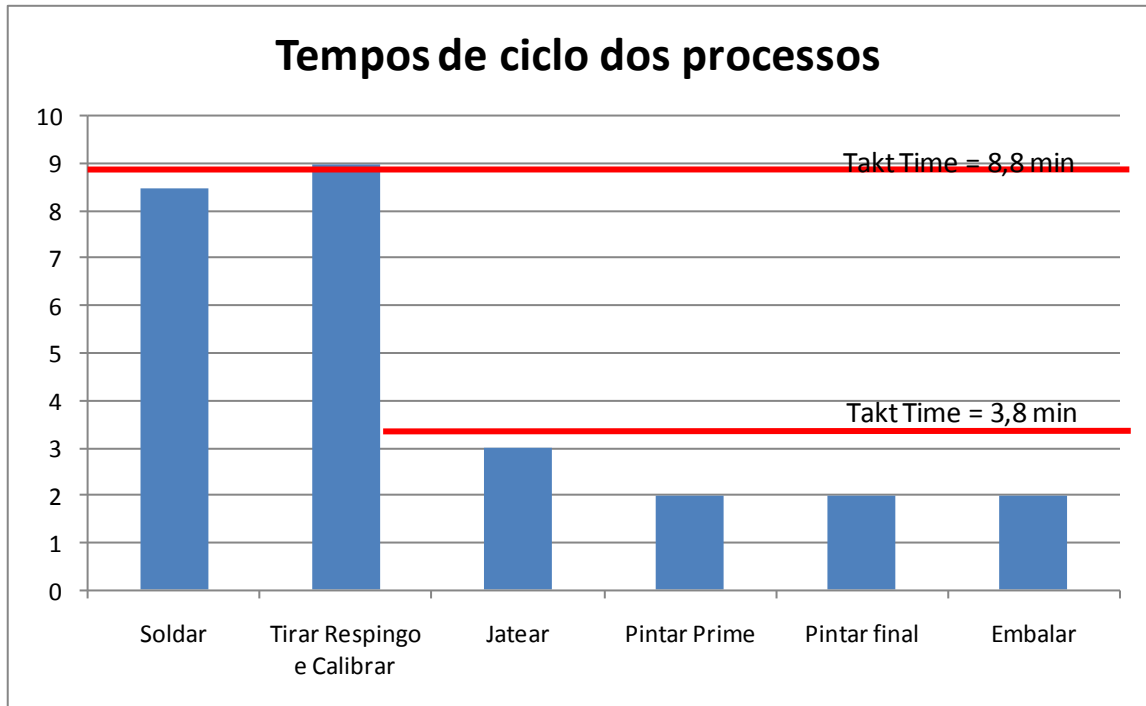


Figura 52 tempos de ciclos balanceados comparado com o tempo takt.

No gráfico pode observar que embora os demais processos estejam com excesso de capacidade deve-se lembrar que este *loop* é compartilhado por todas as famílias de produtos. Portanto, esta capacidade “excedente” será utilizada pelos produtos das demais famílias.

(18) Dimensionar espaço para estoques e supermercados de Produto Acabado.

Para atender a demanda foi estipulado que seria mantido um supermercado de produtos acabados com tamanho de 5 dias. Esse tamanho do supermercado foi projetado com base no histórico de demanda dos produtos. A figura 53 mostra o espaço requerido pelos produtos acabados.

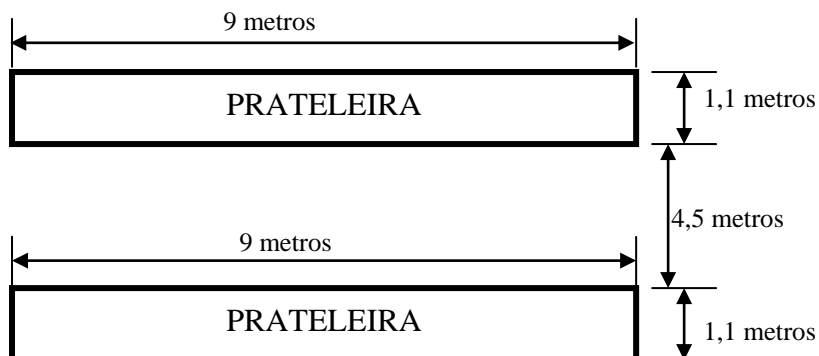


Figura 53 Espaço necessário para os produtos acabados

Deve-se destacar que o espaço de 4,5 metros entre as prateleiras deveu-se à necessidade do uso de empilhadeira para o manuseio dos produtos.

(19) Verificar se é possível fazer FIFO sem estoques intermediários.

Com a introdução de duas estações de solda para atender ao *takt time* e, a realização de um trabalho de redução de *setup* tornou-se possível estabelecer um fluxo contínuo sem estoques/pulmões intermediários conforme é demonstrado no MFV futuro.

(20) Utilizar conceito de célula e projetar módulo do *loop* indicando os recursos restritivos internos/supermercados

Com base nas informações levantadas foi gerada uma célula de fabricação para os produtos da família A e um *layout* em linha para as etapas de jateamento, *prime*, pintura e embalagem. A figura 54 apresenta o *layout* gerado para esse *loop*.

Neste caso, como elementos restritivos foram identificadas as cabines de *prime*, e pintura. Isso devido ao custo de se modificar a posição desses equipamentos.

A figura 55 apresenta em detalhe a célula projetada para a família A. No *layout* pode-se observar as duas estações de solda e os dois operadores necessários na operação de respingo e calibração.

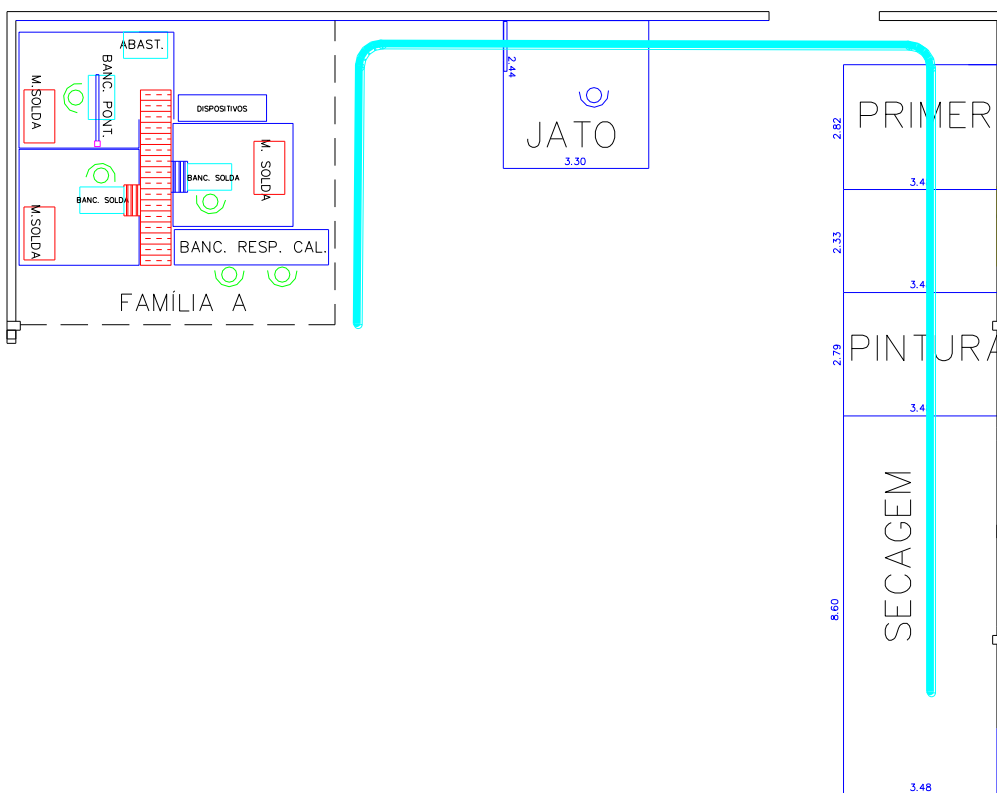


Figura 54 Layout do loop em análise

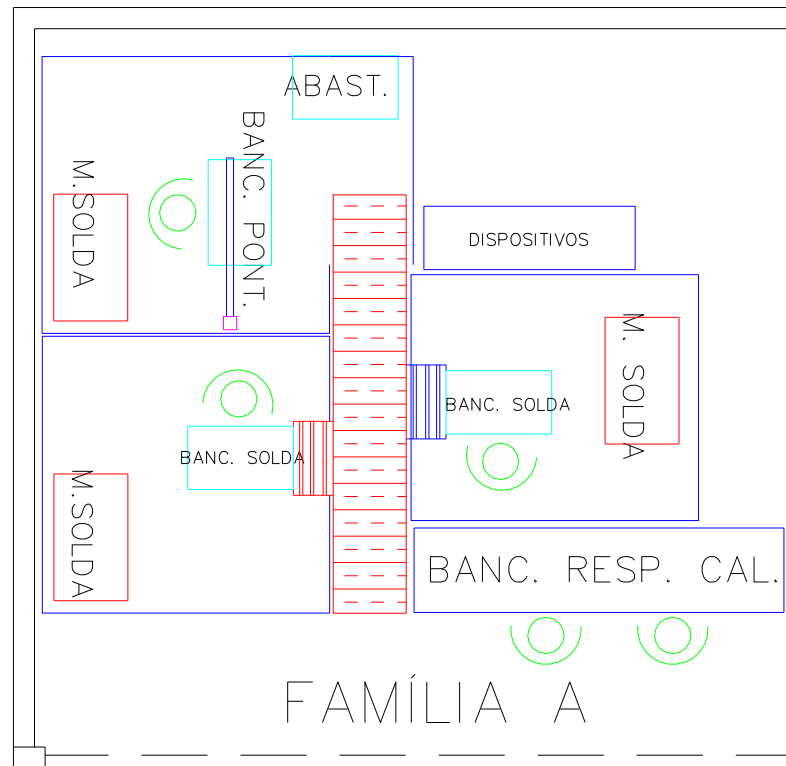


Figura 55 layout detalhado da célula de fabricação da família A

Para se manter um fluxo contínuo e unitário de peças foi projetado um trilho que passa pela célula, pelo jateamento, pintura e termina na área de secagem.

(21) Fixar o módulo projetado como um building block.

O módulo projetado foi fixado como um *building block*. Esse módulo serviu como referência para a construção das células das demais famílias.

(22) O módulo projetado é satisfatório?

Uma análise crítica do módulo projetado mostrou que este:

- Permite a realização de uma produção em FIFO: como se pode observar no *layout* projetado não há pontos onde o material pára. As estações de trabalho foram balanceadas e existe um caminho lógico e simples para o material fluir.
- É um *layout* de fácil programação das tarefas nas estações de trabalho: a criação de um fluxo contínuo permite que apenas um processo receba programação. Os demais processos devem apenas produzir o que e enviado a esses.
- Número de estações de solda utilizadas para a família A é menor no *loop* projetado do que na situação inicial: como será destacado posteriormente o número de

estações de solda utilizadas para a fabricação da família de produtos A tornou-se menor do que na situação inicial do *layout* funcional.

Portanto, com base nessa análise o módulo projetado foi definido como satisfatório pela equipe de projeto. Com isso, passou-se ao projeto dos demais módulos. Para isso, voltou-se ao passo (15) do modelo proposto de projeto de *layout*.

Após a construção do *layout* do *loop* 1 passou-se para o projeto do *layout* do *loop* 2.

Antes de iniciar a análise do *loop* 2 um ponto a se observar é a semelhança de processo entre o *loop* 2 e 4. Os roteiros de fabricação das famílias A e B são apresentados a seguir:

- Família A: Serrar / Furar / Armazenar / Pontear / Soldar / Tirar Respingo / Calibrar / Jatear / Prime/Pintar.
- Família B: Serrar / Furar / Terceiro (Tratamento Térmico, Dobrar)/ Armazenar / Pontear / Soldar / Tirar Respingo / Calibrar / Jatear / Prime/Pintar.

Como se pode observar essas famílias possuem a mesma seqüência de operação, com a única diferença da família B sofrer operação em terceiro.

Um problema que surgiu é o compartilhamento de um mesmo equipamento para a operação de Furar (Furadeira Múltipla). Esse equipamento, devido ao alto valor, não podia ser duplicado e era utilizado pelas duas famílias. Neste caso, para o projeto do *layout* foi realizada uma análise em conjunto dos itens das famílias A e B, ou seja, o *loop* 2 e o *loop* 4 foram contemplados em um único módulo de *layout*.

(15) Verificar se o *loop* é bem comportado.

Quanto ao comportamento do *loop* 2 esse não pode ser considerado bem comportado. Neste caso existia um equipamento (Furadeira Múltipla) que não podia ser duplicado, devido ao alto custo, o qual era compartilhado pelas peças que passavam no *loop* 2 e no *loop* 4.

(26) Fazer análise de capacidade com base no conceito de TPT.

Diferentemente do *loop* 1 a análise de capacidade do *loop* 2 e 4 foi realizada com base no TPT. A figura 56 apresenta a tabela utilizada no cálculo do TPT.

A tabela 11 apresenta o cálculo do TPT para as duas famílias A e B com base no processo gargalo identificado (Furação na máquina: Furadeira Radial).

Dimensionamento do TPT

| Cód. da peça | Demanda média semanal | Tempo processo da peça | Tempo Processo do lote | Tempo Setup | Tempo Total Disponível da Semana | Tempo Total do processo da Lote Semanal | Tempo Setup Total | Tempo Disponível para Setup | Quantidade de Ciclos por Semana | TPT |
|--------------|-----------------------|------------------------|------------------------|-------------|----------------------------------|---|-------------------|-----------------------------|---------------------------------|-----|
| XYZ | A1 | B1 | A1 x B1 | C1 | D | A1xB1 + A2xB2 | C1 + C2 | D – (A1xB1+A2xB2) = E | E/(C1+C2) = F | 5/F |
| WST | A2 | B2 | A2 x B2 | C2 | D | | | | | |

Figura 56 Método de cálculo do TPT

Utilizando a tabela apresentada na figura 56 foi encontrado um TPT de 1 dia. Por questões de segurança, definido com a equipe de projeto, foi adotado um TPT de 3 dias. Essa segurança foi adotada porque havia um receio em se implantar um novo processo e se este por algum motivo falhasse iria afetar as entregas e, conseqüentemente, a credibilidade do projeto.

A demanda apresentada na tabela 11 refere-se à demanda das peças das famílias A e B que sofrem operação na furadeira radial (processo gargalo).

Portanto, com base em um TPT de três dias a capacidade requerida de hora máquina nos equipamentos utilizados na fabricação dos itens A e B foi calculada e é apresentada na tabela 12:

Tabela 11 Capacidade de máquina x tempo necessário

| Demanda média mensal | Tempo de processo (min) | Tempo processo lote (min) | Tempo de setup (min) | Tempo total disponível da semana (min) | Tempo total processo lote semanal (min) | Tempo de setup (min) | Tempo disponível para setup (min) | Quantidade de ciclos por semana | TPT |
|----------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------|--|---|----------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----|
| 58 | 2 | 116 | 20 | | | | | | |
| 58 | 2 | 116 | 20 | | | | | | |
| 20 | 2 | 40 | 20 | | | | | | |
| 20 | 2 | 40 | 20 | | | | | | |
| 70 | 2 | 140 | 20 | | | | | | |
| 80 | 2 | 160 | 20 | | | | | | |
| 29 | 2 | 58 | 20 | 2140 | 1480 | 260 | 660 | 2,5 | 3 |
| 58 | 3 | 174 | 20 | | | | | | |
| 70 | 2 | 140 | 20 | | | | | | |
| 48 | 2 | 96 | 20 | | | | | | |
| 50 | 2 | 100 | 20 | | | | | | |
| 50 | 3 | 150 | 20 | | | | | | |
| 50 | 3 | 150 | 20 | | | | | | |

O tempo necessário em cada equipamento por mês é composto do tempo de processamento dos lotes de produção acrescido dos tempos de *setup*. A tabela 12 a seguir mostra como exemplo o cálculo do tempo de fabricação dos itens da família A que sofrem operação na Furadeira Radial:

Tabela 12 Capacidade de máquina x tempo necessário

| Tamanho do lote (demanda média semanal *4/6) | Tamanho do lote * tempo de processo (min) | Quantidade de lotes no mês * tempo processo lote (min) | Tempo Total Setup (min) | Tempo Total (min) |
|--|---|--|-------------------------|-------------------|
| 39 | 77 | 464 | 120 | 584 |
| 39 | 77 | 464 | 120 | 584 |
| 13 | 27 | 160 | 120 | 280 |
| 13 | 27 | 160 | 120 | 280 |
| 47 | 93 | 560 | 120 | 680 |
| 53 | 107 | 640 | 120 | 760 |
| 19 | 39 | 232 | 120 | 352 |
| | | | Total | 3520 |

O tamanho do lote foi calculado multiplicando-se a demanda semanal por 4 (quantidade média de semanas no mês) e dividindo o resultado por 6 (TPT = 3), ou seja, a fábrica tem capacidade de produzir 6 vezes no mês todos os produtos. Portanto serão fabricados em média 6 lotes no mês (considerou-se o mês com 20 dias úteis). Os itens apresentados na tabela 12 correspondem aos 7 primeiros itens da tabela 16.

A segunda coluna da tabela 12 corresponde ao tamanho do lote multiplicado pelo tempo de processamento de cada peça do lote.

A coluna quantidade de lotes no mês multiplicado pelo tempo de processo do lote corresponde a cada linha da coluna 2 da tabela 12 multiplicada por 6.

O tempo total de *setup* corresponde a 20 minutos de setup multiplicado por 6 (quantidade de lotes fabricados no mês).

O tempo total corresponde ao tempo total utilizado para cada produto do item A.

Portanto, a família A utilizará 3520 minutos do tempo total disponível da Furadeira Radial. O tempo total disponível de 6500 minutos foi o tempo considerado para processar os itens *best sellers*.

Deve-se apenas destacar que esses tempos são em relação aos itens *best-sellers*. Logo, o tempo restante disponível em cada equipamento ficou reservado para os demais itens não *best-sellers*.

(27) Dimensionar espaço para estoques e supermercados de Produto Acabado

Como se pode observar no MFV futuro foi projetado um supermercado de 5 dias para as peças em processo. Esse tamanho do supermercado foi estipulado com base no TPT, 3 dias, e na segurança que a equipe de projeto decidiu introduzir no processo. A figura 57 apresenta o espaço reservado na fábrica para esse supermercado.

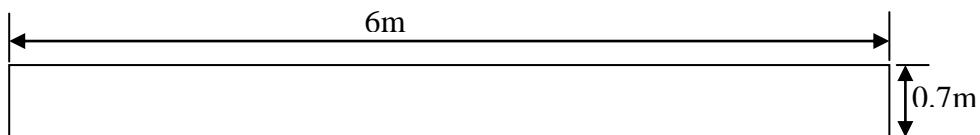


Figura 57 Dimensões do supermercado de peças

(28) Dimensionar quantidade de recursos para o loop.

Com base na tabela 12 somando-se os tempos necessários em cada equipamento e confrontando com o tempo disponível, tem-se:

- Furadeira Radial:
 - Tempo necessário: 6848 (3520 + 3328)
 - Tempo disponível: 6500
- Furadeira de Coluna:
 - Tempo necessário: 6100 (4560 + 1540)
 - Tempo disponível: 6500
- Furadeira Múltipla:
 - Tempo necessário: 2612 (2350 + 260)
 - Tempo disponível: 6500

Portanto, existiu a necessidade de duplicação da furadeira radial.

(29) Localizar e dimensionar espaço para os pulmões de peças necessários entre os recursos produtivos.

Neste caso, não foi necessário dimensionar espaços para pulmões de peças dentro do processo produtivo do módulo. As peças sofrem apenas duas operações, de furação e “escareamento”, portanto no *layout* foi dimensionado o espaço para o operador e apenas uma bancada central para posicionamento das peças após sofrerem a operação de furação.

(30) Projetar o módulo do *loop* indicando os elementos restritivos e utilizando o conceito de *layout* que melhor se adeque à situação.

Para o projeto do módulo do *loop* o único elemento restritivo foi a furadeira múltipla. O *setup* da máquina exigia utilização de empilhadeira para transporte dos gabaritos utilizados pela máquina. Portanto foi necessário manter um corredor de acesso à máquina.

O *layout* projetado para o módulo em análise é apresentado na figura 58 a seguir.

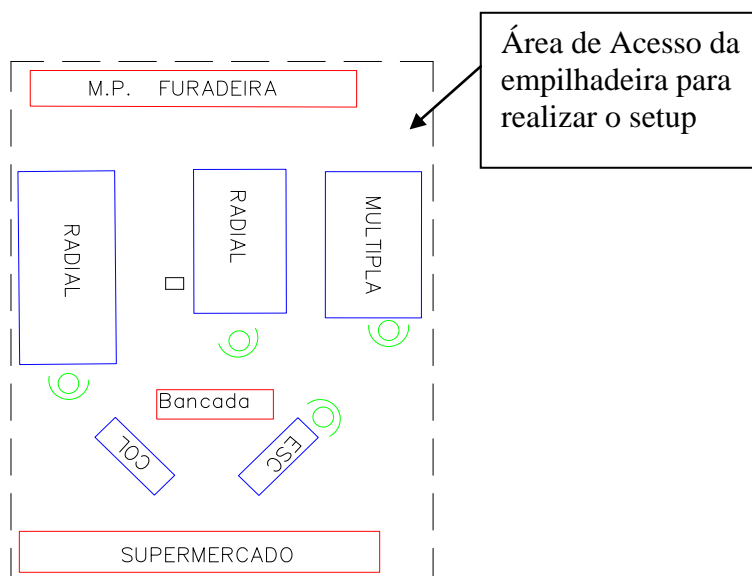


Figura 58 Layout do módulo do loop

Como se pode observar na figura acima ficou uma área livre atrás da Furadeira Múltipla para que a empilhadeira pudesse levar os gabaritos da máquina e realizar o *setup*.

(31) Fixar o módulo projetado como um *building block*

O módulo projetado foi fixado como um *building block* de forma análoga ao realizado com a célula de montagem.

(32) O módulo projetado é satisfatório?

O módulo projetado foi definido como satisfatório pela equipe de projeto. Portanto passou-se ao projeto do módulo do *loop* da família C.

Os demais loops foram projetados de forma análoga, portanto não serão apresentados. A seguir será contemplada a formulação do *layout* macro com base nos *buildings blocks* formados.

(33) Retirar do *layout* todas as máquinas e equipamentos deixando apenas os elementos restritivos.

A figura 59 apresenta o *layout* da fábrica apenas com os elementos restritivos. As cabines de *prime* e de pintura devido a aspectos de tratamento de efluentes foi considerada como um monumento, ou seja, não eram passíveis de serem movimentadas. Além disso, o jato de granalha também foi considerado como elemento restritivo devido ao custo em outro local, caso fosse necessário. Com o desenvolvimento do projeto, observou-se que devido ao posicionamento das cabines de *prime* e pintura o jato de granalha estava em uma posição adequada.

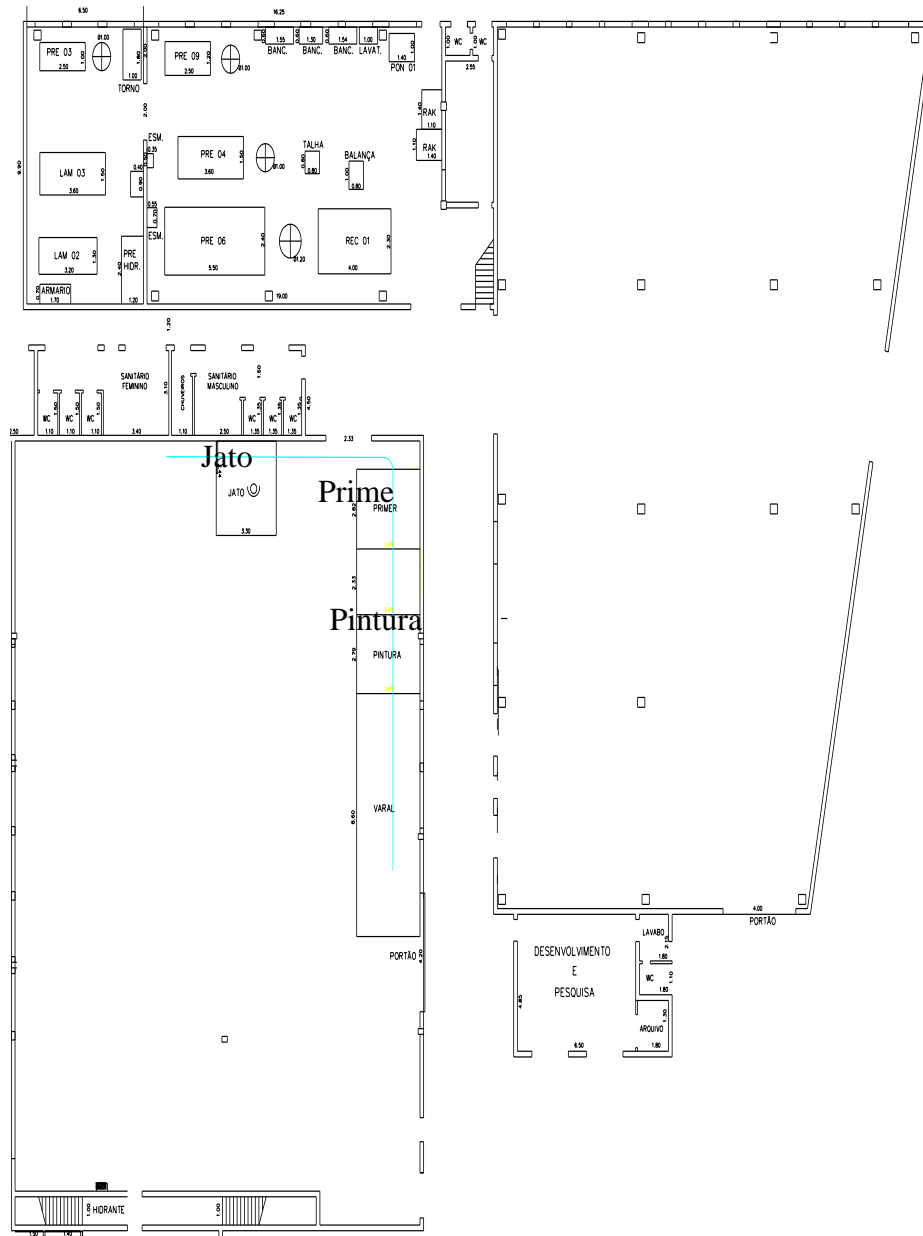


Figura 59 Layout apenas com os elementos restritivos

(41) Alocar os *buildings blocks* com base nos elementos restritivos.

Com base nos *buildings blocks* formados foram geradas algumas alternativas de *layouts*. A figura 60 e 61 apresentam duas alternativas de *layout* formadas.

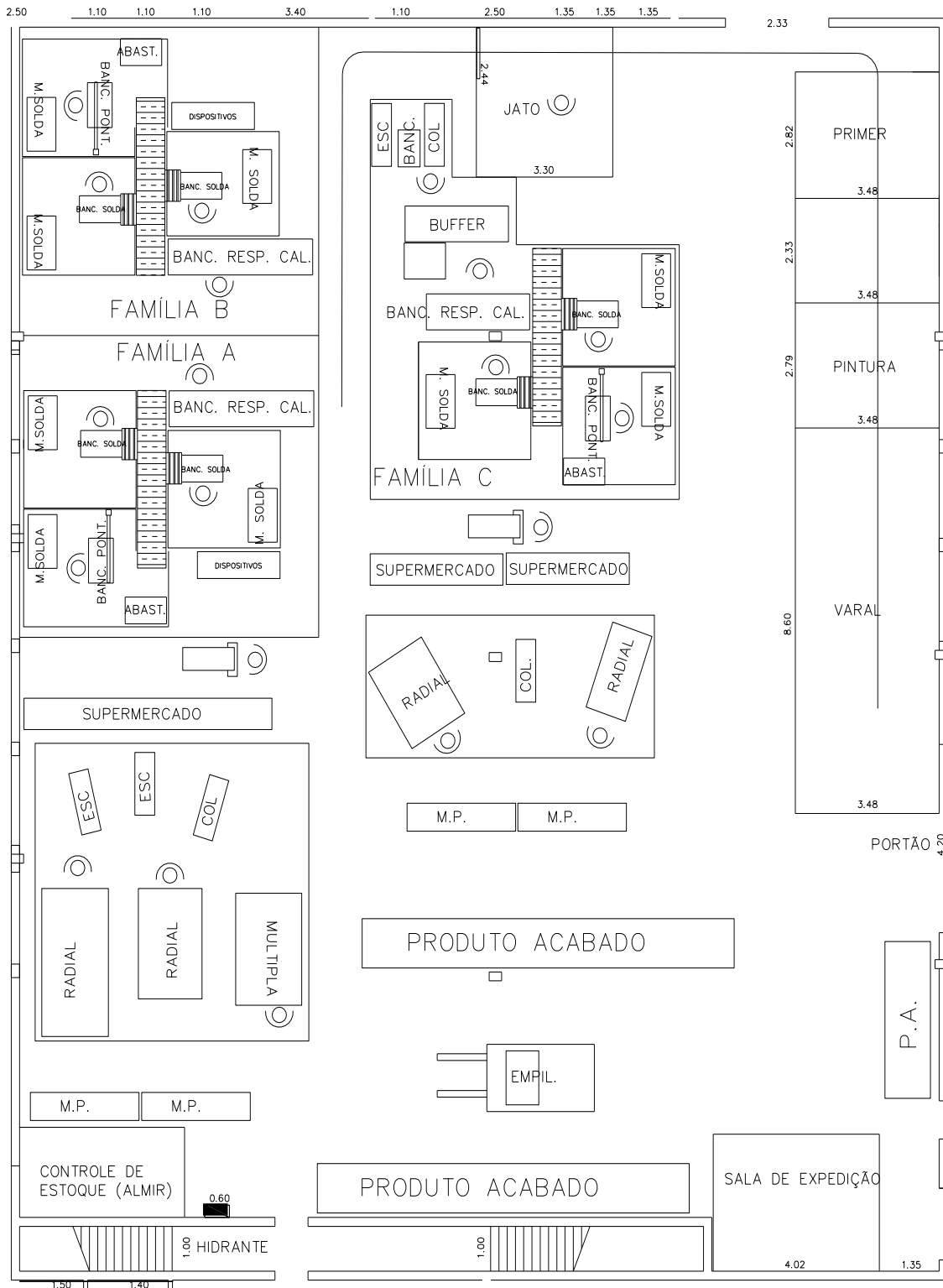


Figura 61 Alternativa de layout formulada

Alguns fatores que levaram à não escolha dessas alternativas foram a dificuldade de alocação de trefilados dentro da área de produção e a proximidade de cabines de solda e ponteamto da área de pintura. Com base nessas restrições foram elaboradas outras alternativas de *layout*. A figura 62 apresenta a alternativa selecionada para implantação.

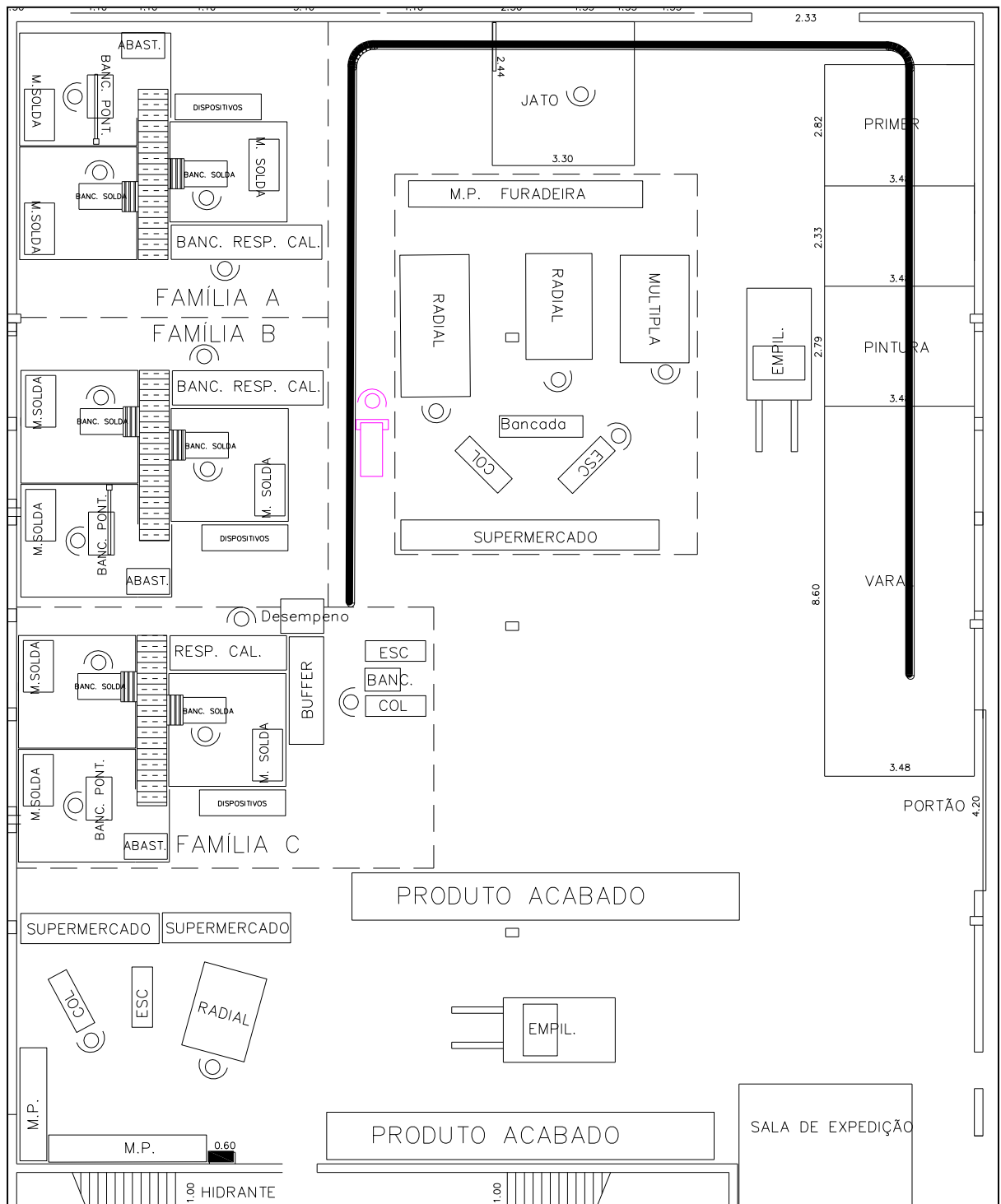


Figura 62 Alternativa de layout selecionada

Entre os aspectos que levaram à escolha dessa alternativa, pode-se destacar:

- Proximidade entre o supermercado de produtos finais e a saída da pintura.
- Células de abastecimento próximas das células de montagem.

- *Layout* permite de forma fácil o gerenciamento visual das operações.
- Não necessidade de empilhadeira na maioria das operações.

(42) Fazer Diagrama de Espaguete entre os *building blocks*.

A figura 63 apresenta o diagrama de espaguete para a alternativa de *layout* projetada

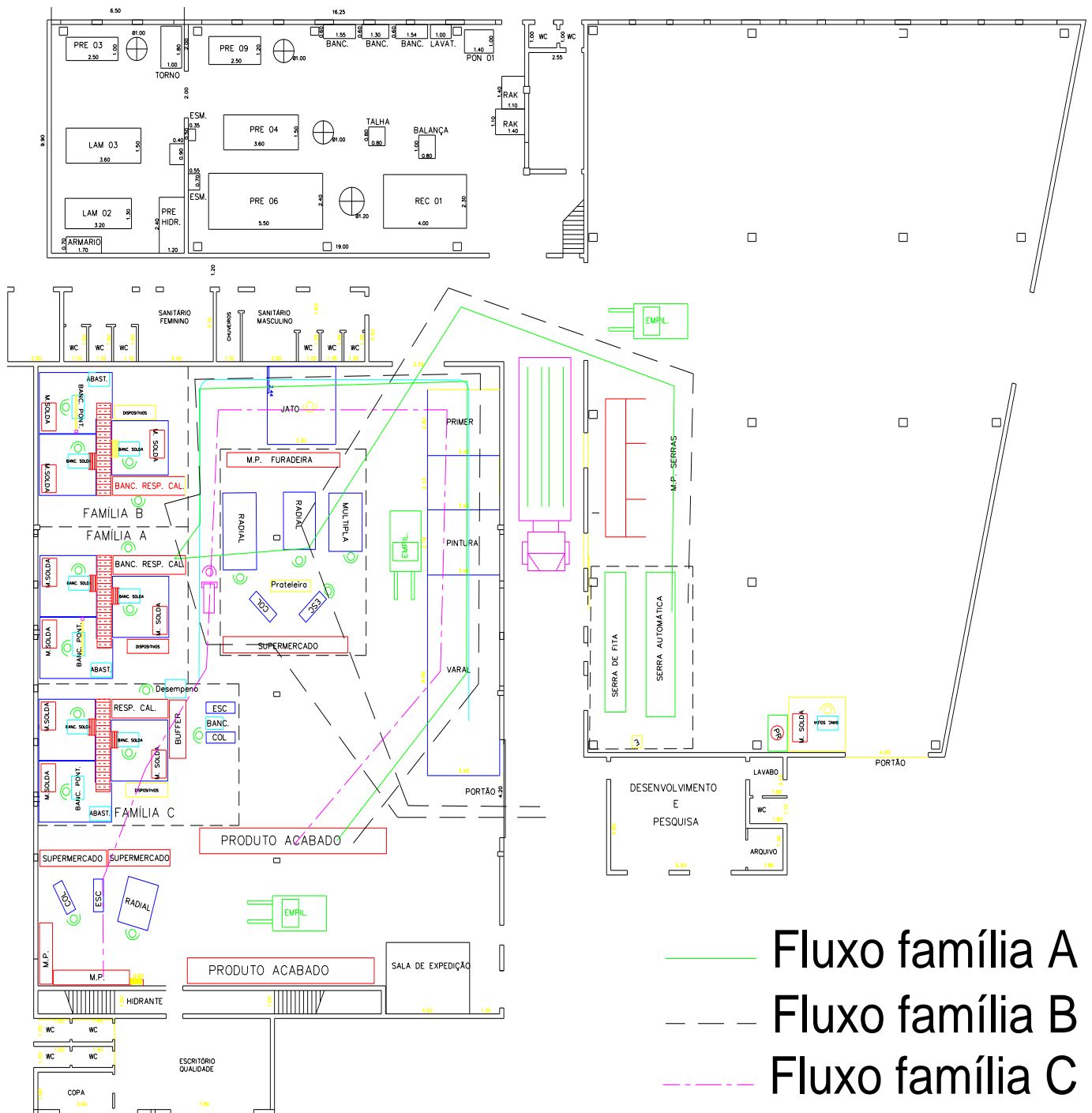


Figura 63 Diagrama de Espaguete

Como se pode observar os fluxos das famílias de produtos tornaram-se mais simples. Houve uma redução nos cruzamentos de fluxos e uma redução nas distâncias percorridas pelos materiais e pessoas, como será demonstrado a seguir.

(43) Levantar distância percorrida pelos fluxos de peças/produtos

Com base no diagrama de espaguete foram levantadas as distâncias percorridas por cada fluxo. A tabela 13 apresentamos os resultados alcançados.

Tabela 13 Movimentação de materiais e pessoas

| Fluxo das famílias | Distância percorrida inicial (m) | | Distância percorrida projetada(m) | |
|---------------------------|----------------------------------|-------------|-----------------------------------|------------|
| Fluxo 1 - FA | Materiais | 84 | Materiais | 0 |
| | Pessoas | 168 | Pessoas | 0 |
| Fluxo 2 - FA | Materiais | 185 | Materiais | 83 |
| | Pessoas | 370 | Pessoas | 166 |
| Fluxo 1 - FB | Materiais | 56 | Materiais | 0 |
| | Pessoas | 112 | Pessoas | 0 |
| Fluxo 2 - FB | Materiais | 185 | Materiais | 123 |
| | Pessoas | 370 | Pessoas | 246 |
| Fluxo 1 - FC | Materiais | 84 | Materiais | 0 |
| | Pessoas | 168 | Pessoas | 0 |
| Fluxo 2 - FC | Materiais | 185 | Materiais | 58 |
| | Pessoas | 370 | Pessoas | 116 |
| Movimentação Total | | 2337 | | 792 |

Como se pode observar na tabela 13 para algumas etapas do fluxo de produção a movimentação foi reduzida a zero. Isso se ocorreu devido à criação de supermercados entre os processos, eliminando a movimentação que ocorria anteriormente devido ao fato de armazenar as peças em processo em um único ponto.

Comparando a movimentação inicial à situação projetada e implantada ocorreu uma redução de movimentação da ordem de 67%. Esse ganho de movimentação refletiu, entre outros aspectos, em um aumento de produtividade, como será apresentado à frente.

(44) Fazer análise da alternativa de layout indicando as vantagens e desvantagens

A figura 64 apresenta a principal alternativa de layout projetada. Como se pode observar ocorreu um melhor aproveitamento dos espaços resultando em um ganho de área. Esse ganho foi bastante significativo porque existia na empresa uma tendência a buscar ampliar o espaço disponível. Com o novo projeto de layout pode-se visualizar que existia espaço em excesso na planta.

(45) A alternativa de *layout* projetada é satisfatória?

A alternativa de *layout* projetada foi considerada satisfatória. Deve-se apenas ressaltar que foram geradas inúmeras alternativas de *layout*. A alternativa apresentada neste trabalho foi a escolhida pela equipe de projeto.

7.4 Terceira Etapa – Implantação e Acompanhamento

Após a formulação do *layout* passou-se à última etapa do método, implantação e acompanhamento. As atividades realizadas nessas etapas são descritas a seguir.

(46) Planejar a mudança utilizando o conceito de evento *kaizen*

Para a implantação das melhorias propostas foi determinado a seguinte seqüência:

- Primeiro Evento *Kaizen*: Implantação do *loop* 1 e do *loop* 2.
- Segundo Evento *Kaizen*: Implantação do *loop* 3.
- Terceiro Evento *Kaizen*: Implantação do *loop* 4 e do *loop* 5.
- Quarto Evento *Kaizen*: Implantação do *loop* 6 (Esse *loop* ficou sob responsabilidade da empresa implantar).

As atividades descritas a seguir serão em relação ao Primeiro Evento *Kaizen*.

(47) Definir as ações: Pré-*kaizen*, *kaizen*.

As ações *pré-kaizens* necessárias para o primeiro evento *kaizen* foram:

- Aquisição de matéria-prima para confecção de prateleiras.
- Aquisição de matéria-prima para a confecção de roletes (esteira).
- Aquisição de matéria-prima para confecção das células de soldagem
- Formação de um pulmão de peças para não interromper o fluxo de abastecimento dos clientes.

Quanto às atividades da semana do evento *kaizen*, *essas* estão descritas na figura 65 a seguir.

| LOOP EXPEDIÇÃO - Célula Montagem Solda | Quando Fazer |
|---|----------------------|
| ATIVIDADES PARA INÍCIO | |
| Treinamento | Segunda - manhã |
| Planejamento das atividades | Segunda - manhã |
| Montar fisicamente supermercado de P.A.'s | Segunda - tarde |
| Transferir racks de semi-acabados (p/ abastecimento das células) | Segunda - tarde |
| Remanejamento / retirada de cabines de solda e bancadas p/ células | Segunda - tarde |
| SISTEMAS DE CONTROLE | |
| Montar quadro para expedição | Terça-feira |
| Desenvolver quadro programação para célula A | Terça-feira |
| Gerar cartões P.A. da célula A | Terça-feira |
| Imprimir cartões P.A. da célula A | Quarta-feira |
| Montar quadro da célula A | Quarta-feira |
| MUDANÇA FÍSICA DAS CÉLULAS | |
| Construir bancadas para tirar respingos e calibrar | Terça-feira |
| Construir carrinhos de transporte das peças célula A | Terça-feira |
| Construir carrinhos de transporte dos dispositivos célula A | Terça-feira |
| Montar roletes célula família A | Quarta-feira |
| MUDANÇAS ESTRUTURAIS | |
| Construir o trilho do Jato | Segunda-feira |
| Ampliar dimensão da cabine | Terça-feira |
| Inverter a posição da cabine | Quarta-feira |
| Aumentar parafuso dos ganchos (+ 10cm de comprimento) | Quarta-feira |
| Construir e implantar talha de ponteamto da célula A | Quinta-feira |
| Construir e implantar mini-ponte rolante para respingo e calibração nas células | Quinta-feira |
| 5S | |
| Separar materiais úteis e inúteis de cada área | Quinta-feira |
| Definir local de armazenamento dos materiais restantes | Quinta-feira |
| Demarcar todas as áreas | Quinta-feira |
| Montar check-list para auditoria de 5S | Quinta-feira |
| TREINAMENTO | |
| Treinar operadores célula A | Quinta-feira (tarde) |
| Treinar operadores célula Jato | Quinta-feira (tarde) |
| Treinar movimentador / abastecedor | Quinta-feira (tarde) |
| Treinar expedição | Quinta-feira (tarde) |
| Montar apresentação em Powerpoint | Sexta-feira (manhã) |
| Apresentação | Sexta-feira (tarde) |

Figura 65 Descrição das atividades do evento kaizen

(48) Definir a equipe de mudança

A equipe de mudança reuniu pessoas de diversas áreas por dois motivos principais:

- Permitir que pessoas de áreas de suporte, como ferramentaria, pudesse trabalhar em tempo integral na implantação.
- Disseminar a cultura de mudança pela fábrica tornando assim mais fácil a realização de futuros eventos *kaizens*.

A equipe foi composta de 10 integrantes sendo um desses o líder do evento *kaizen*. A tabela 14 apresenta o nome das pessoas envolvidas e as funções desempenhadas na fábrica.

Tabela 14 Equipe do *kaizen*

| Nome | Função |
|-------------------|--|
| Jean | Coordenador de produção (Líder do evento <i>kaizen</i>) |
| Leandro | Soldador |
| Cícero | Soldador |
| Antonio Fernandes | Soldador |
| Ricardo | Soldador |
| Silvestre | Líder do setor de soldas |
| Valdenicio | Responsável pela calibração das peças |
| Genivaldo | Expedição |
| Leandro Queiroz | Responsável pela remoção de respingo das peças |
| Erik | Usinagem (São Bernardo do Campo) |

(49) Realizar o evento *kaizen*

Conforme planejado o evento *kaizen* teve duração de uma semana. As fotos da figura 66 a seguir apresentam alguns momentos das mudanças realizadas.



ANTES



DEPOIS



ROLETES P/A A
CÉLULA



CARRINHOS
ABASTECIMENTO

BANCADAS P/A
SETUP RÁPIDO

Figura 66 Fotos do evento *kaizen*

Para esse evento *kaizen* algumas atividades ficaram pendentes para serem realizadas no pós-*kaizen*. Essas atividades foram:

- Adequar as bancadas de solda (promover espaço dos dois lados para o operador).
- Fazer proteção para o final da linha de roletes.
- Colocar gavetas nas bancadas de respingo e calibragem.
- Organizar dispositivos de calibração.
- Colocar quadro de controle na expedição.
- Treinar Operadores.

(50) Acompanhar para estabilização das mudanças.

Foi definido um período de um mês para acompanhamento das mudanças implantadas. Esse acompanhamento teve por objetivo a garantia da realização das atividades pós-*kaizen*.

(51) Definir medidas de desempenho.

Para analisar a eficiência das células projetadas foi estabelecido um conjunto de medidas de desempenho. A figura 67 apresenta uma tabela para levantamento das medidas estabelecidas para uma análise inicial das células.

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Apontado no processo de Calibrar | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| Qualidade | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Número de peças produzidas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Peças com defeito para re-trabalho | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Peças refugadas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| peças devolvidas | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Apontado no PCP | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pontualidade (por família da célula) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| % de atraso ao cliente | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| tempo médio de atraso | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 67 Medidas de desempenho para as células

(52) Medir os resultados.

Entre alguns dos resultados obtidos com a mudança do *layout* pode-se destacar:

- Aumento de produtividade em 50%: algumas das ações que permitiram esse aumento de produção foram: redução do tempo de *setup*, aproximação dos postos de trabalho eliminando movimentação desnecessária.
- Redução do índice de faltas de operários em 90%: existia um grande problema na fábrica relacionado ao índice de faltas no trabalho. Com as células dedicadas esse

índice diminuiu porque os operadores passaram a perceber que a sua ausência afetava diretamente o processo produtivo. Isso foi possível devido à célula implantada. Com o processo em fluxo contínuo o próprio operador percebeu o quanto o seu trabalho impacta no desempenho do processo como um todo.

- Redução do estoque em processo em 50%: com a implantação do novo *layout* e dos conceitos de produção enxuta os estoques em processo reduziram em 50%.
- Aumento da satisfação dos funcionários: devido ao fato de terem sido trabalhados também os processos de ergonomia, especialmente na realização dos *setups*, o índice de satisfação dos funcionários aumentou.
- Redução da falta de peças: a implantação de supermercados e de um sistema puxado reduziu em mais de 90% o índice de falta de peças para o cliente.
- Organização e melhoria do ambiente físico de trabalho: além de se otimizar o espaço físico o ambiente de trabalho tornou-se mais agradável com a melhor organização e limpeza das áreas.
- Redução do espaço utilizado na produção em 40%: como mencionado anteriormente ocorreu um grande ganho de área. Isso foi importante porque a direção da empresa acreditava que estava faltando espaço físico.
- Redução do número de estações de solda: inicialmente eram utilizadas 16 estações de soldagem para fabricar os produtos. Com a reestruturação de *layout* e os conceitos de produção enxuta implantadas esse total foi reduzido para 10 estações de soldagem.

Finalmente, a figura 68 apresenta fotos da fábrica após a realização de todos os eventos *kaizens*, com exceção do evento *kaizen* relacionado aos fornecedores que ficou a cargo da empresa conduzir.

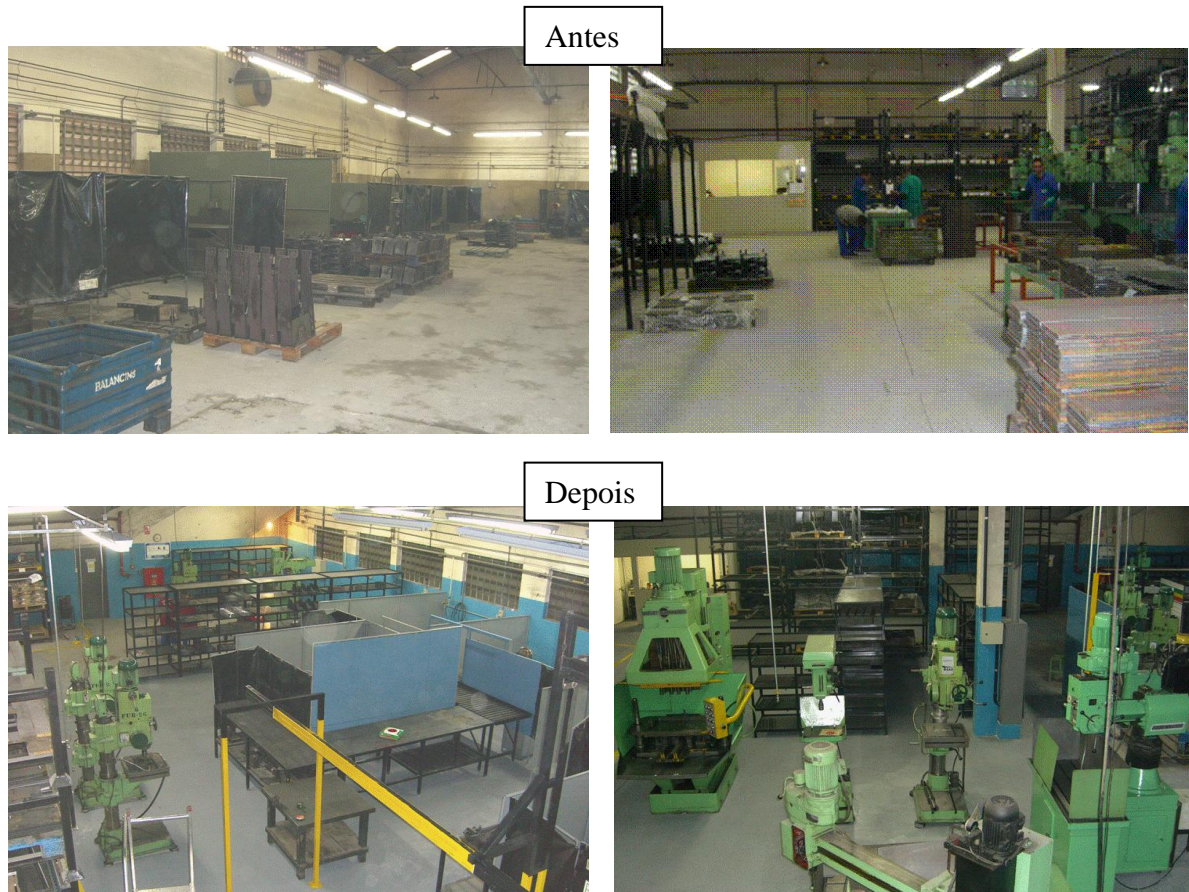


Figura 68 Fotos antes e depois da mudança de layout

Como mencionado, anteriormente, a fábrica possui duas plantas fabris. O estudo de caso apresentado foi em relação à fábrica em Diadema. Quanto à fábrica em São Bernardo o método foi aplicado de forma análoga e, portanto, não será apresentado neste trabalho.

7.5 Análise Geral.

Neste estudo de caso o modelo proposto de formação de *layout* mostrou-se eficiente. Os resultados alcançados com a diminuição de movimentação, organização do fluxo de produção, entre outros, demonstraram a eficiência do método. Cabe apenas ressaltar que, para *loops* que não sejam bem comportados o trabalho de projeto do *layout* torna-se mais complexo devido ao fato de não ser definido qual tipo de conceito de *layout* utilizar.

Em resumo, os resultados obtidos para as plantas de Diadema e São Bernardo foram:

- Planta de Diadema:
 - Racionalização do *layout*

- Liberação de uma área de 553m²
- Movimentação
 - Redução de até 90%
- Redução de *lead time*
 - 56% Família A
 - 80% Família B
 - 76% Família C
 - 84% Fabricação
- Formação de células
 - Redução dos tempos de troca
 - Gestão Visual
 - Aumento da produtividade em 80%
 - Programação Puxada (Forn. – Fabricação – Montagem – Expedição – Cliente)
- Jateamento
 - Aumento da produtividade
 - Criação de Fluxo contínuo
- Aproveitamento de mão-de-obra direta
 - Aumento de 50%
 - Diminuição do absenteísmo
- Planta de São Bernardo
- Movimentação
 - Redução de 30%
- Resultados gerais
 - Propensão à mudança
 - Organização da fábrica (5S)

- Melhoria da programação da produção
- Redução dos estoques em processo

CAPÍTULO 8

8. Estudo de caso: Empresa de Turbinas de Energia

Esse capítulo refere-se ao segundo estudo de caso, onde foi aplicado o modelo propostos de projeto de *layout*.

8.1 Apresentação da empresa

A empresa onde foi aplicado o modelo encontra-se localizada no interior de São Paulo. Os produtos fabricados consistem de turbinas para geração de energia, principalmente, destinadas a usinas de cana-de-açúcar.

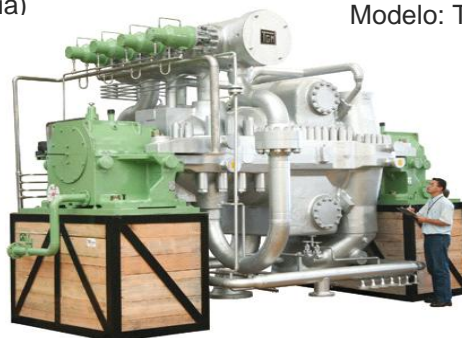
Os produtos fabricados são subdivididos basicamente em três grandes grupos: turbinas pequenas, turbinas médias e turbinas de grande porte. A figura 69 apresenta alguns dos produtos fabricados.



Modelo: TMC (Média)



Modelo: TM FLEX – (Pequena)



Modelo: BTE –(Grande)

Figura 69 Exemplo de turbinas fabricadas na empresa

Além da produção de turbinas novas de energia a empresa também dedica parte dos seus recursos na manutenção anual das turbinas em operação nos clientes.

A seguir, será apresentada a aplicação do modelo de projeto de *layout* proposto com os resultados alcançados.

8.2 Primeira Etapa – Levantamento da Situação Atual

Seguindo as etapas do método, inicialmente, foram identificadas as famílias de produtos, mensurada a movimentação total e realizada uma análise crítica da situação inicial da empresa. As atividades dessa primeira etapa do modelo são descritas, em detalhes, a seguir. A numeração está de acordo com o modelo.

(1) Levantar os produtos fabricados.

A empresa realiza dois tipos de atividades, produção de turbinas novas e reforma/manutenção de turbinas usadas (*Service*). Portanto, inicialmente foram realizadas duas divisões macros para o projeto do *layout*.

- Projeto do *layout* da fábrica para turbinas novas.
- Projeto do *layout* da fábrica para *Service*.

A aplicação do método foi realizada para o setor de produção de turbinas novas.

(2) Definir os produtos *Best Sellers*.

Dentro do rol de turbinas fabricadas foram definidas três categorias de turbinas:

- Turbinas Grandes.
- Turbinas Médias.
- Turbinas Pequenas.

As tabelas 15, 16 e 17 a seguir apresentam os modelos de turbinas fabricadas com as respectivas demandas.

Tabela 15 Demanda de turbinas pequenas

| Modelo Turb. pequenas | 2005 | | | | | 2006 | | | | | 2007 | | | | | 2008 | | | | | Total | | | | | | | | |
|--------------------------|------|---|---|----|----|------|---|----|---|---|------|---|---|---|----|------|----|----|---|---|-------|---|---|---|---|---|---|---|----|
| | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| TS 500 | | | | 1 | 1 | 1 | | 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 4 | 1 | | | | | | | | | | | | | | 1 | 18 |
| TG 320 | | | 1 | | | | | | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | 3 |
| 40 ME | | | | | | | | | | 3 | | | | | | | | 2 | 1 | | | | | | | | | | 6 |
| 55 ME | | | | | | | | 10 | 8 | 1 | | | | | | | 1 | 5 | | | | | | | | | | | 25 |
| 70 ME | | | | 1 | | | | 1 | 3 | 1 | | | | 2 | | | | | | | 6 | | | | | | | | 14 |
| 385 ME | | | | | 1 | 1 | 3 | | | | | | | | | | | | | | 9 | | | | | | | | 14 |
| Z 50 | | | | | | | | | | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 5 |
| Z 80 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 |
| TM FLEX 1000 | | | | | | | | 2 | 4 | | | | | 1 | 10 | | | | | 2 | | | 4 | 4 | | | 2 | 2 | 31 |
| TM FLEX 2000 | 2 | 5 | | 4 | | 3 | 2 | | 3 | | 1 | | | 1 | | | 2 | 1 | 2 | | | 2 | 2 | | | | 1 | 1 | 32 |
| TM FLEX 3000 | | | | | | | | 1 | 1 | | | | | 2 | 2 | | | | | | | 2 | | | | | 1 | 1 | 10 |
| TM 1000 | | | | | | | | 4 | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | 5 |
| TM 2000 | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| TM 3000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | 1 |
| TM 1000S | | | | | | | | 1 | 5 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 10 |
| TM 3000S | | | | | | | | 1 | 3 | 1 | | | | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | | 7 |

A tabela acima apresenta a demanda dos modelos de turbinas pequenas distribuída ao longo dos meses em um período de 4 anos. Deve-se ressaltar que todos os produtos são fabricados *make-to-order*. Portanto, a demanda demonstrada acima se refere a uma demanda concreta de turbinas e não a uma previsão.

Com base na tabela 15 pode-se constatar que os modelos TM Flex 1000 e 2000 são os modelos com maior demanda.

Tabela 16 Demanda de turbinas médias

| Modelo Turb. Médias | 2005 | | | | | 2006 | | | | | 2007 | | | | | 2008 | | | | | Total | | | | | | | | |
|------------------------|------|---|---|----|----|------|---|---|---|---|------|---|---|---|---|------|----|----|---|---|-------|---|---|---|---|---|---|---|----|
| | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| TMC 5000 | | | | | | | | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | 2 |
| TMC 10000 | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | 3 | | | | | | | | | | | | 4 |
| TME 10000 | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| TME 15000 | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| TM 5000 | | | | 1 | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | 1 | | | 1 | | | | | | | | 5 |
| TM 8000 | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | 1 | | | | | | | | 3 |
| TM 10000 | | | 1 | 1 | 1 | | | | | | | 1 | | | | 1 | | 2 | | 1 | 1 | | | | | | | | 9 |
| TM 15000 | | | | | | | | 2 | 2 | 1 | | | | | | | | | 1 | | 2 | | | 1 | | 1 | 1 | 1 | 12 |
| TME 25000 | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | 3 |
| TME 35000 | | | | 1 | | 1 | | | | | | | 1 | | 1 | | 1 | | 2 | | | | | 1 | | | | 2 | 9 |
| TM 25000 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | 1 | | | 1 | | 1 | | | | | | | | | | | 4 |
| TM 35000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | 1 |
| TMC 15000 | | | | | | | | 2 | 1 | | | | 1 | | 1 | | | | | | | | | | | | | | 5 |
| TMC 25000 | | 1 | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 |
| TMC 35000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 | 2 | 4 |

A tabela 16 apresenta a demanda dos modelos de turbinas médias distribuída ao longo dos meses em um período de 4 anos. Para os modelos de turbinas médias o modelo com maior demanda é o TM15000.

Tabela 17 Demanda de turbinas grandes

| Modelo Turb. Grandes | 2005 | | | | | 2006 | | | | | 2007 | | | | | 2008 | | | | | Total | | | | |
|-------------------------|------|---|---|----|----|------|---|---|---|---|------|---|---|---|---|------|----|----|---|---|-------|---|---|---|----|
| | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | | 3 | 4 | 5 | |
| TM 50000 | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| CT 32/40/50/85 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | 7 |
| BTE 50/63 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | 6 |
| TMC 3000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 |
| TME 5000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0 |
| TS 1000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 12 |
| TS 1000P | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 10 |
| TS 2000 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 7 |
| 85 ME | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| Z 63 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | | 3 |
| Worthington | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 | 2 |

De forma análoga às tabelas anteriores, a tabela 17 apresenta a distribuição de demanda de turbinas grandes ao longo dos meses em um período de 4 anos. Os modelos TS1000 e TS1000P são os modelos de turbinas grandes com maior demanda a ser atendida.

Levando em consideração o volume produzido e o retorno financeiro à empresa as seguintes turbinas foram classificadas como produtos *best sellers*.

- Turbinas Pequenas: TS 500 – 55 ME – TM 1000S – TM FLEX1000
- Turbinas Médias: TMC 10000 – TME 35000 – TMC 25000
- Turbinas Grandes: 85ME – Z63ME – TS 1000P – TS 1000

Um ponto a se destacar, de forma semelhante ao que ocorreu ao primeiro estudo de caso, considerou-se como sendo um ambiente de alta variedade de peças, devido à quantidade de peças que formam cada produto.

(3) Identificar similaridades.

Muito embora os produtos sejam fabricados para atender necessidades específicas de cada cliente, o que confere a cada turbina particularidades, pode-se identificar dois padrões de similaridade:

Similaridade de produto: Neste caso, a similaridade refere-se ao tamanho dos produtos fabricados.

Similaridade de processo: muito embora exista uma diversificação de processos determinados grupos de turbinas compartilham processos semelhantes.

Em resumo, similaridade de processo e produto foram os critérios adotados para a formação das famílias que será descrito a seguir.

(4) Formar famílias de produtos com base nos princípios de similaridade adotados.

Tendo por base as similaridades de produtos e processos as turbinas foram divididas em 3 famílias:

Família 1: Turbinas grandes.

Família 2: Turbinas médias.

Família 3: Turbinas pequenas.

Ou seja, as turbinas que pertencem à família 1 tem em comum a característica de dimensão e similaridade de processo. Essas turbinas tem uma particularidade de ter uma maior customização do que turbinas pequenas ou médias.

De forma análoga, as famílias 2 e 3 são compostas por turbinas com características semelhantes de dimensão e processo.

(5) Identificar os produtos não *Best Sellers* que podem se encaixar nas famílias de *Best Sellers*.

Inicialmente, devido à complexidade dos produtos, não foi realizada nenhuma identificação de produtos não *Best Sellers* que pudessem ser alocados à família de produtos *Best Sellers*.

(6) É necessário descer ao nível de componentes?

Muito embora tenha se conseguido dividir os produtos *Best Sellers* em 3 famílias distintas, devido à complexidade do processo de fabricação foi necessário descer ao nível de componentes para posteriormente se trabalhar a questão de *layout*.

Como mencionado na descrição do modelo de projeto de *layout* esse aprofundamento a nível de componentes ocorre quando o produto apresenta uma estrutura bastante complexa, como é o caso de uma turbina de energia.

Portanto, identificada a necessidade de se descer ao nível de componentes o próximo passo foi identificar os componentes das turbinas e classificá-los em famílias.

(7) Identificar as famílias de componentes dentro das famílias de produtos *Best Sellers* formadas.

Um ponto importante a se destacar é o fato de que embora as turbinas tenham características distintas de projeto e de fabricação essas possuem uma certa similaridade

quanto aos componentes que as compõe. Por exemplo, toda turbina será composta por uma carcaça, terá um conjunto mancais, terá um rotor, etc. O que irá ser alterado de uma turbina para outra são as características de cada um desses componentes.

Portanto, com base nessa similaridade foram identificadas 7 famílias de componentes. Essas famílias são descritas a seguir:

- Família 1: Mancal, Bucha e Anel.
- Família 2: Carcaça.
- Família 3: Diafragma e Injetores.
- Família 4: Rotor.
- Família 5: Palhetas.
- Família 6: Eixo Simples.
- Família 7: Eixo Integrado.

Como mencionado anteriormente, tanto as turbinas grandes, médias ou pequenas serão formadas por esses componentes. A única exceção refere-se às famílias 6 e 7. Turbinas médias e pequenas são compostas pela família de eixos simples, ao passo que turbinas grandes são compostas pela família de eixos integrados.

(8) Levantar o *layout* atual das instalações.

A empresa já possuía uma planta das instalações. Nesta etapa, portanto, realizou-se uma atualização do *layout* das instalações fabris. A figura 70 apresenta o *layout* inicial da fábrica.

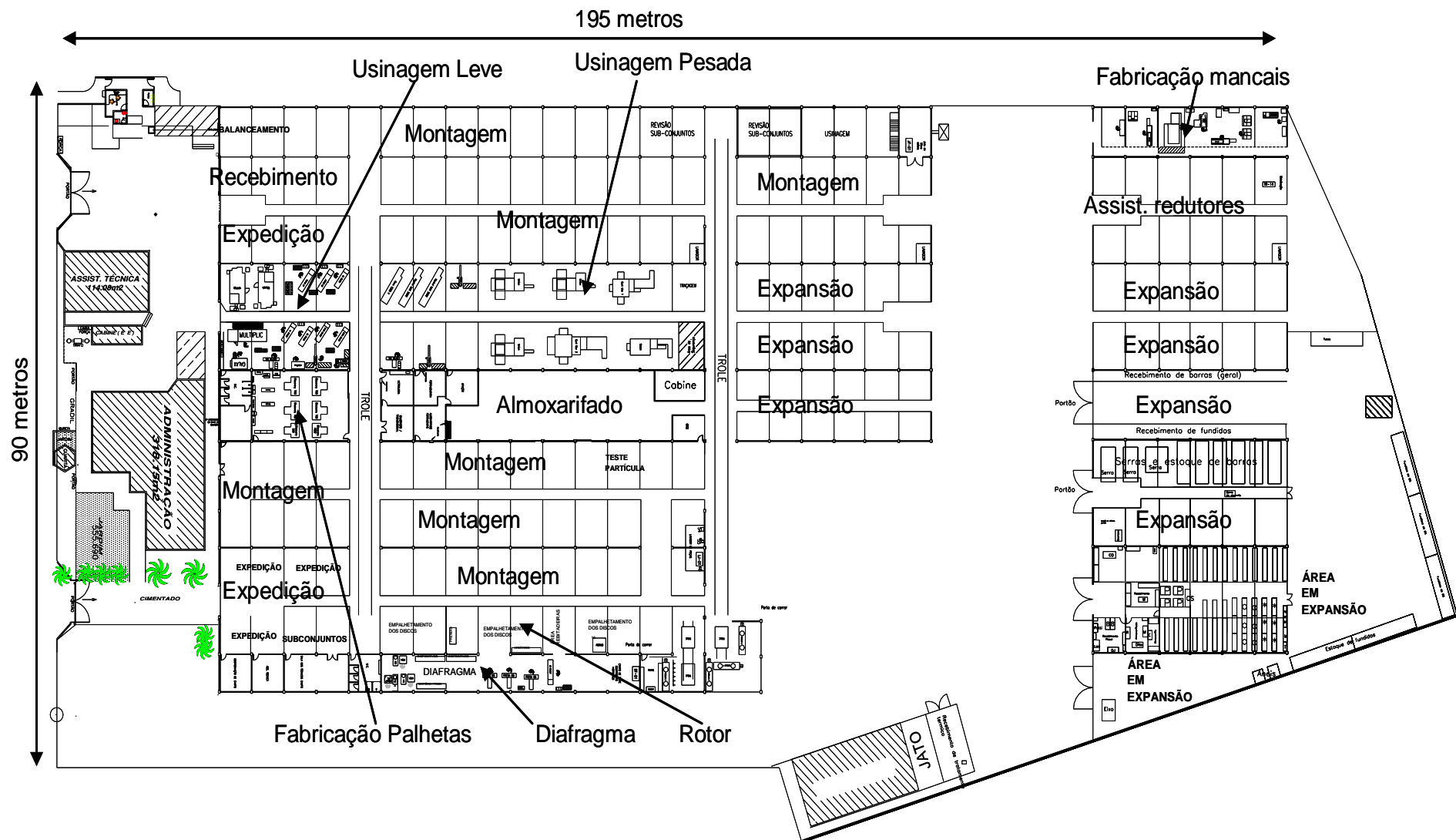


Figura 70 layout anterior do chão-de-fábrica

Como se pode observar no *layout* a fábrica possui de forma macro uma dimensão de 17550m². Considerando que as peças e os produtos finais são de difícil movimentação, devido ao peso e as dimensões, o *layout* torna-se num fator de impacto direto no desempenho dos processos produtivos

No *layout* são apresentadas várias áreas de ampliação da fábrica. Essas áreas já estavam sendo construídas antes do início do projeto e foram algumas delas concluídas antes da finalização do mesmo.

Um ponto a se destacar é que a área identificada como Almoxarifado e Fabricação de Palhetas possui como característica principal uma limitação de altura. Existe um mezanino contendo salas de escritório que ficam na parte superior dessas áreas. Esse aspecto refletiu diretamente na decisão de quais tipos de equipamentos poderiam ser alocados nesse local, como será demonstrado posteriormente.

Por último, para a família de componentes Eixo Integrado os principais processos ocorrem no setor destacado como Usinagem Pesada. A família Eixo Integrado tem seus principais processos ocorrendo no setor de Usinagem Leve. A família de Carcaça também possui seus principais processos no setor de Usinagem Pesada. Para finalizar, Injetores são fabricados juntos com Diafragma e Buchas e Anéis junto com Mancais.

(9) Construir do Diagrama de Espaguete

Para cada uma das famílias de componentes apresentadas foi traçado o diagrama de espaguete. A figura 71 apresenta, como um exemplo, o diagrama de espaguete da família de Diafragma.

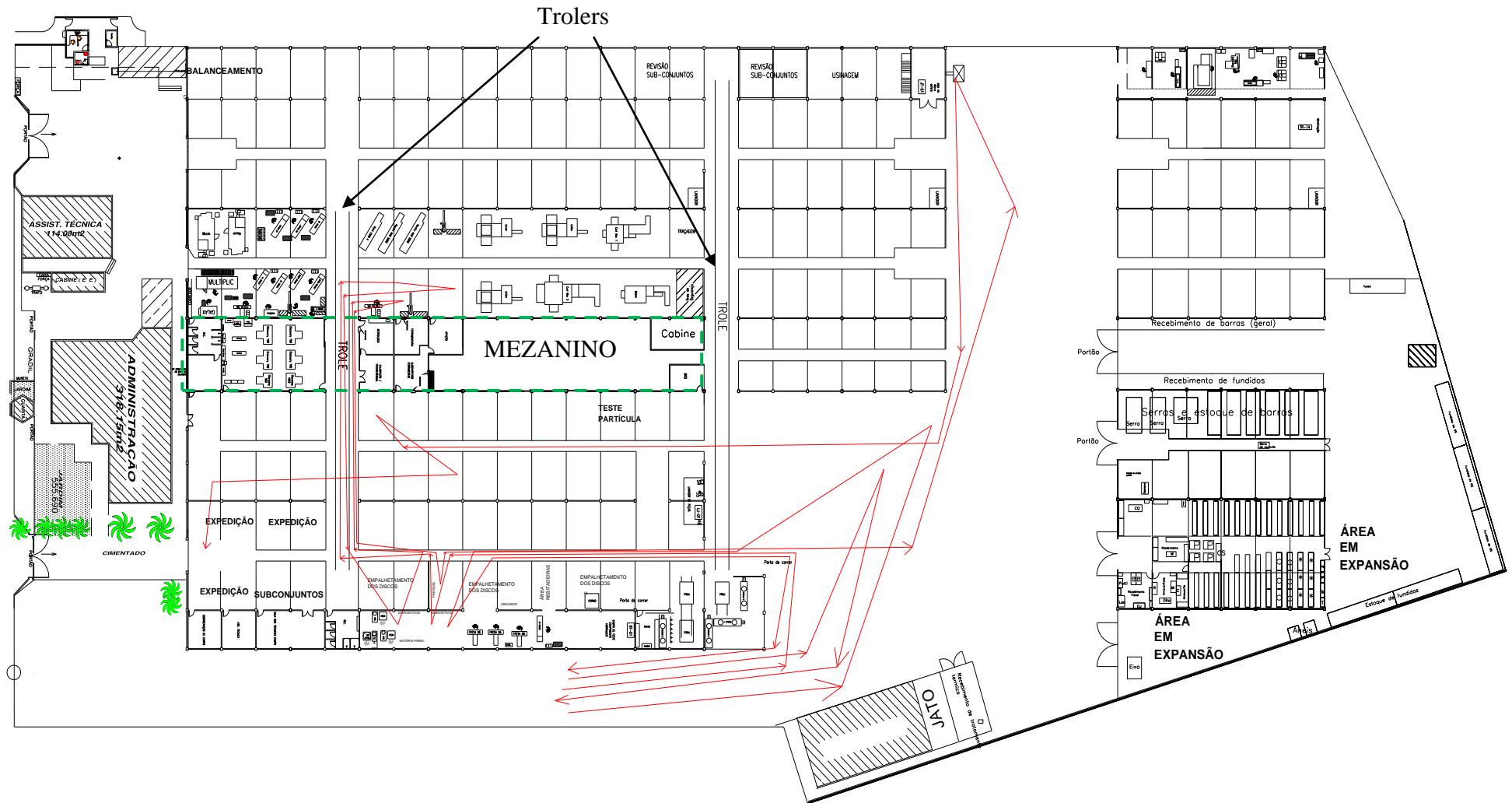


Figura 71 Diagrama de Espaguete da família de Diafragma

Como se pode observar existe uma grande movimentação da família de componentes ao longo da fábrica. E como mencionado anteriormente, o problema se agrava devido às dimensões das peças. Os principais desperdícios ou problemas identificados resultantes da movimentação excessiva são:

1. Necessidade do uso de pontes rolantes: para a movimentação da peça dentro de um mesmo setor são utilizadas pontes rolantes. Além da ponte rolante ter uma velocidade de deslocamento baixa em muitos casos o operador necessita aguardar (desperdício de espera) que outro operador termine de utilizar a ponte.
2. Utilização de trolers: como se pode observar na figura 76 existem dois trolers para movimentação de peças entre setores. Isso deve-se ao fato de existir um mezanino que torna inviável a passagem de peças de um setor ao outro utilizando somente a ponte rolante. Com isso, existe um desperdício muito grande de tempo gasto com atividades de transbordo, ou seja, pegar a peça com a ponte rolante, colocá-la no troler, levar a peça até a outra área com o troler, identificar uma ponte rolante disponível, retirar a peça com a ponte rolante do troler e movimentá-la para o local de uso.
3. Utilização de empilhadeiras: de forma análoga à ponte rolante toda vez que é necessário movimentar uma peça com empilhadeira primeiramente é necessário identificar uma empilhadeira disponível. Com isso, muitas vezes, o operador e a peça ficam muito tempo esperando por uma empilhadeira. Além desse desperdício, em alguns casos a movimentação com empilhadeira pode causar danos à peça, como riscos, amassados, etc. gerando a necessidade de retrabalho.

(10) Construir o mapa do fluxo de valor

Paralelamente, à atualização do *layout* das instalações físicas foi construído um mapa de fluxo de valor da situação inicial da empresa para cada uma das famílias de turbinas. O mapa apresentado na figura 72 refere-se à família de turbinas pequenas.

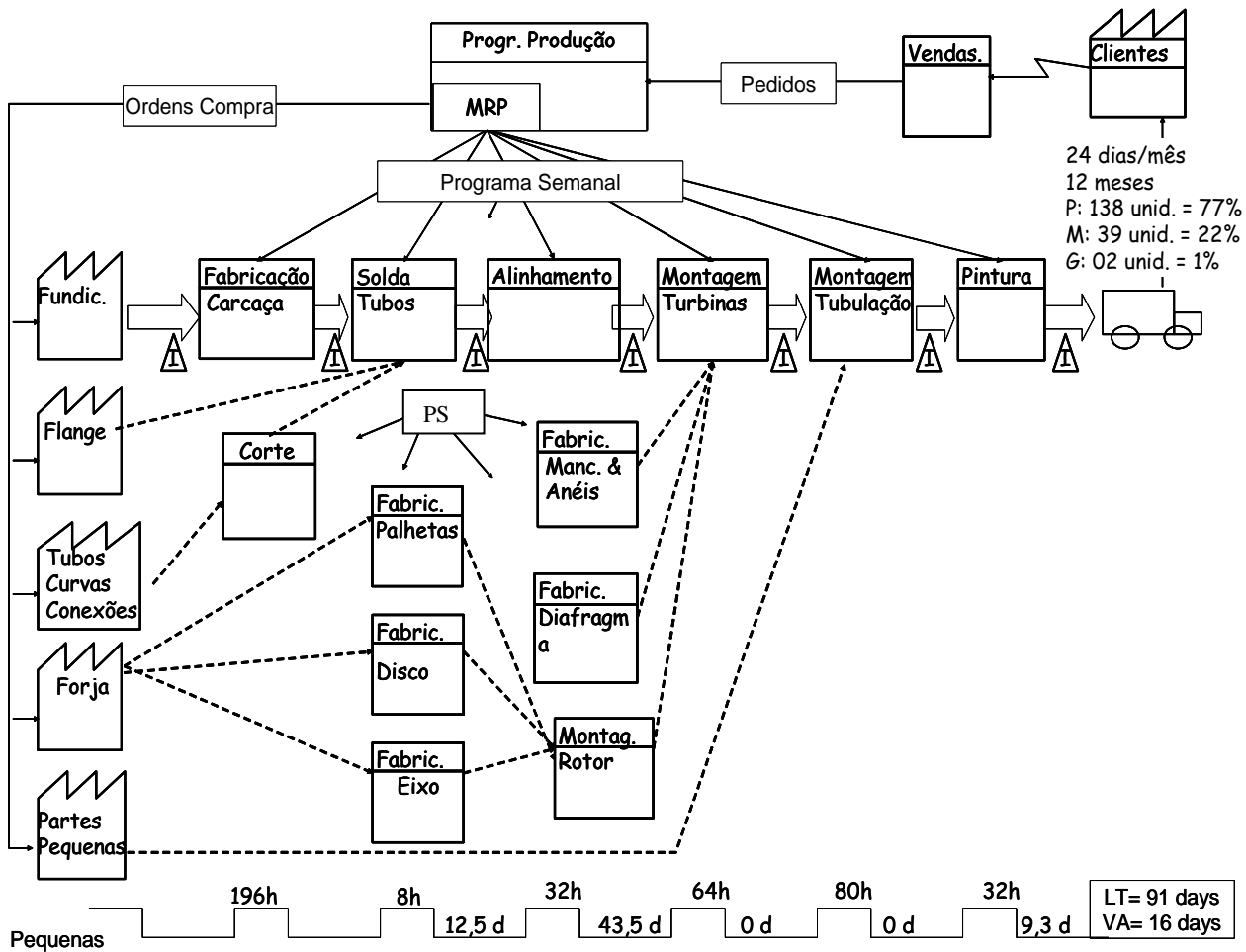


Figura 72 Mapa do fluxo de valor da situação inicial para turbinas pequenas

Em uma análise prévia do mapa pode-se destacar os seguintes pontos:

- Acúmulo de estoques ao longo do processo de produção.
- Um distanciamento muito elevado entre o tempo de agregação de valor e o lead time de fabricação.
- O sistema de produção é todo baseado no envio de ordens de fabricação para os postos de trabalho. Como existe uma grande quantidade de ordens de fabricação em andamento no chão-de-fábrica ocorria uma dificuldade em priorizar a produção.

(11) Quantificar as distâncias físicas percorridas

Para todas as famílias de componentes foram levantadas as distâncias que esses percorriam ao longo do chão-de-fábrica. A tabela 18 apresenta as distâncias percorridas pelos materiais, pessoas e o total percorrido.

Tabela 18 Movimentação de peças

| Família de Componentes | Movimentação de Peças (metros) | Movimentação de pessoas (metros) | Total (metros) |
|------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------|
| Mancal, Bucha e Anel | 80 | 160 | 240 |
| Carcaça | 675 | 1350 | 2025 |
| Diafragma e Injetores | 1035 | 2070 | 3105 |
| Rotor | 930 | 1860 | 2790 |
| Palhetas | 110 | 220 | 330 |
| Eixo Integrado | 1550 | 3100 | 4650 |
| Eixo Simples | 930 | 1860 | 2790 |
| Total | 5310 | 10620 | 15930 |

Deve-se destacar que a movimentação de pessoas é normalmente considerada como cerca do dobro da movimentação de materiais. Considera-se neste caso, que o operador leva a peça para o próximo posto de trabalho e depois retorna ao seu posto de trabalho.

(12) Analisar a Situação Atual (Inicial)

Uma análise da situação inicial com base no MFV, nos diagramas de espaguete e na quantificação da movimentação de componentes demonstrou:

- *Lead time* elevado de produção em comparação com o tempo de agregação de valor: para a família de turbinas pequenas o *lead time* de produção é da ordem de 91 dias ao passo que o tempo de agregação de valor é de 16 dias, ou seja, apenas em 17,5 % de todo tempo de fabricação está sendo agregado valor ao produto. Deve-se destacar ainda que como agregação de valor estão sendo considerados os tempos de ciclo das operações. Por exemplo, na fabricação de carcaças está sendo consideradas 196 horas de agregação de valor, quando na verdade, existem ainda muitas operações realizadas internamente nesse processo que são desperdícios e não agregam valor ao produto.
- Grandes acúmulos de estoques ao longo do processo: somando-se os intervalos de tempos entre os processos, fruto dos estoques, tem-se um total de 65,3 dias de peças/componentes/turbinas parados.
- Movimentação excessiva de peças: de uma forma geral para a fabricação de uma turbina existe uma movimentação total de produto e operadores da ordem de 16Km. Cabe ressaltar novamente que os componentes e os produtos finais, devido às suas dimensões e o peso, necessitam em sua grande maioria de equipamentos especiais para transporte como pontes rolantes, trolers e empilhadeiras. E como

mencionado anteriormente existe uma série de problemas e desperdícios inerentes ao transporte.

- Falta de visibilidade entre os processos produtivos devido às distâncias físicas: com o distanciamento dos processos produtivos e também a falta de um sistema de comunicação entre áreas, existe uma dificuldade muito grande na definição das prioridades de fabricação em cada setor. Em muitos casos, as áreas priorizam componentes que não são necessários naquele momento devido à falta de visão de qual a real necessidade do processo posterior. Esse é um dos fatores que gera o desperdício de falta e sobra de peças na fábrica.
- Utilização do *layout* funcional: alguns setores como difragma, rotor, carcaças estão organizados de forma funcional. Como analisado em capítulo anterior desse trabalho o *layout* funcional é um *layout* bastante ineficiente gerando grande movimentação, dificultando o fluxo contínuo de peças, etc.
- Não existência de fluxo contínuo em nenhuma etapa do processo: do mapa do fluxo de valor pode-se observar que o material não flui em nenhum momento durante todo o processo de fabricação. Existem inúmeros pontos que o material pára gerando estoques. Esses estoques além de onerar o *lead time* representam também capital parado entre os processos.
- Excessivo cruzamento de fluxos de componentes no chão-de-fábrica: devido à grande movimentação de componentes e produtos existe um cruzamento muito grande de fluxos. As conseqüências imediatas desse aspecto, observada na fábrica, são empilhadeiras aguardando trolers serem movimentados para essas poderem passar com outros produtos e vice-versa; empilhadeiras aguardando pontes rolantes movimentarem turbinas ao longo de corredores e vice-versa; e empilhadeiras aguardando empilhadeiras movimentares produtos.

8.3 Segunda Etapa – Projeto da Situação Futura (Novo *layout*)

Após a análise da situação inicial passou-se à segunda etapa do modelo, ou seja, o projeto da situação futura. A seguir serão descritas as atividades realizadas nessa etapa.

(13) Construir o MFV da Situação Futura.

Com base na análise realizada no MFV da situação inicial foi projetado um mapa do fluxo de valor da situação futura. O mapa projetado da família de turbinas pequenas é apresentado na figura 73 a seguir.

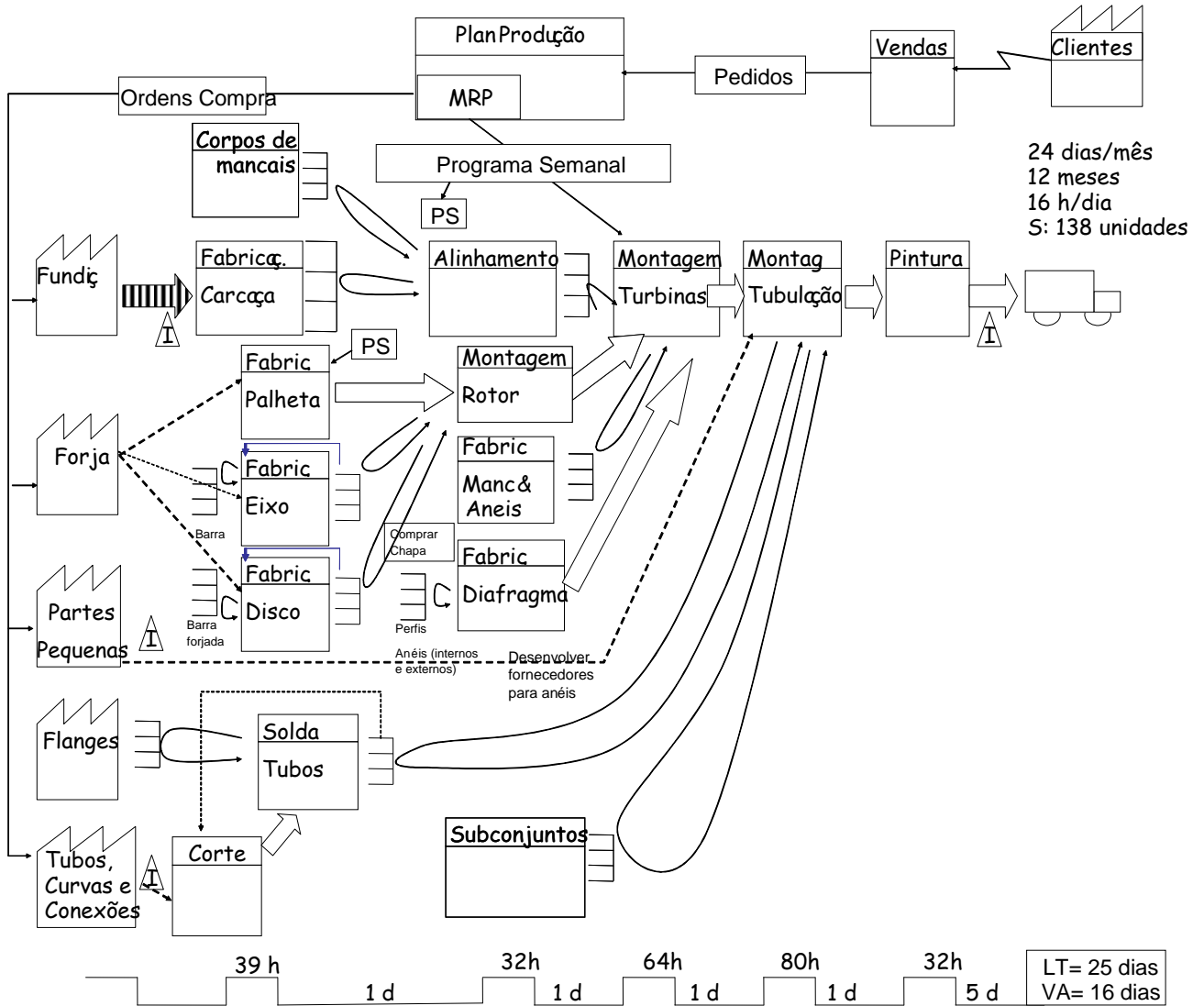


Figura 73 Mapa do fluxo de valor da situação futura de turbinas pequenas

Uma análise comparativa entre o mapa da situação inicial e o mapa projetado e dos diagramas de espagete demonstrou a possibilidade de se:

- Reduzir o lead time de produção de 91 dias para 25 dias: a diminuição do lead time de produção está correlacionada principalmente com a redução dos estoques entre os processos. Além disso, projetou-se também a possibilidade de reduzir alguns tempos de ciclo, como no caso da família de carcaças de 196 horas para 39

horas. Essa redução mostrou-se factível porque durante o processo de fabricação de carcaças essas ficavam muito tempo aguardando a disponibilidade das máquinas de usinagem. Portanto, uma melhor programação e controle das carcaças nos centros de usinagem foi uma das ações projetadas para a redução do *lead time*.

- Eliminar inúmeros pontos de estoque em processo: muitos dos pontos de estoque em processo era fruto do sistema de distribuição e priorização de ordens de produção. A implantação de supermercados e de um sistema puxado mostrou-se como um meio de redução dos estoques em processo.
- Estabelecer fluxo contínuo em alguns pontos do processo: como será apresentado posteriormente, em algumas áreas específicas foi possível até mesmo criar células com fluxo unitário de peças.
- Implantar supermercados: seguindo a metodologia de Rother e Shook (1999) a implantação de supermercados foi utilizada onde não era possível criar um fluxo contínuo.
- Melhorar a gestão visual do chão-de-fábrica. Um dos pontos que foi levantado durante o mapeamento foi a falta de visibilidade dos gestores sobre o status de cada família de componentes ou mesmo de turbinas. Portanto, a gestão visual foi colocada como uma ferramenta para eliminar essa falta de visibilidade.
- Estabelecer fluxos de produção melhor organizados, evitando ao máximo o cruzamento de fluxos de componentes: a observação dos diagramas de espaguete mostrou que existiam um fluxo caótico de peças pela fábrica. Portanto, esse aspecto mostrou-se como um importante ponto de melhoria.

(14) Identificar no MFV os *loops* de implantação e escolha de um *loop*.

Foram identificados 7 *loops* de implantação. Esses *loops* foram definidos com base nas famílias de componentes. A figura 74 a seguir apresenta os *loops* de implantação.

Pode-se observar que existem partes do mapa que não foram contemplados nos *loops*. Primeiramente, isso ocorreu porque se entendeu que os processos que continham as famílias de componentes eram os processos críticos a serem inicialmente alterados. Os demais processos do mapa não contemplados nos *loops* ficaram para serem desenvolvidos e implantados posteriormente..

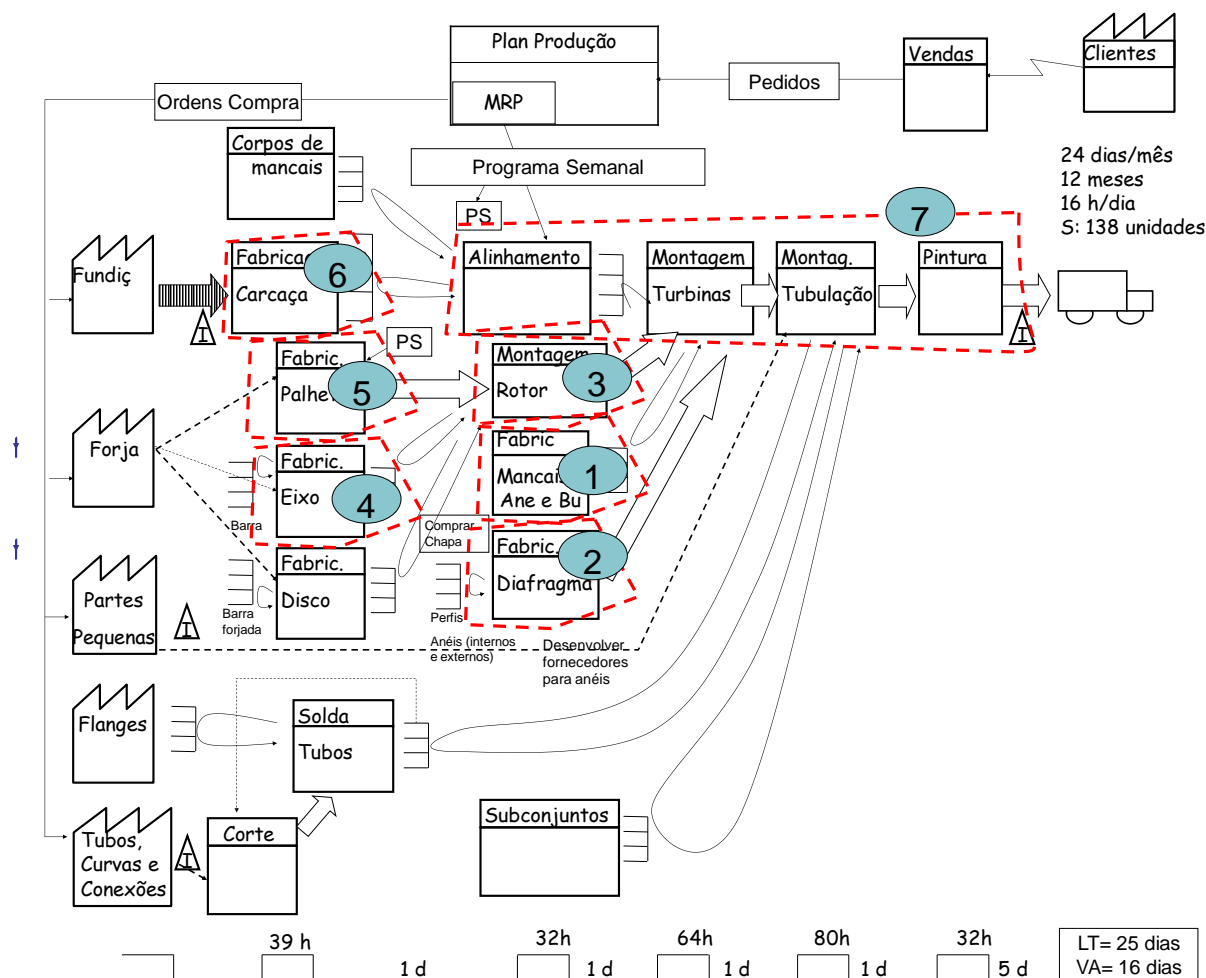


Figura 74 MFV futuro com os loops de implantação em destaque

. O primeiro *loop* selecionado para análise foi o *loop* de mancais, buchas e anéis (*loop* 1). Entre alguns dos problemas identificados neste *loop*, relacionado ao *layout* pode-se destacar:

- Equipamentos distribuídos de forma a não permitir a existência de um fluxo organizado de peças.
- Falta de localização de locais para posicionamento dos estoques.
- Excesso de movimentação de peças.

(15) Verificar o comportamento do *loop*.

O *loop* selecionado foi classificado como bem-comportado. As características que o levaram a essa classificação estão de acordo com a tabela A do modelo de projeto de *layout*, ou seja:

- Os tempos de ciclo de um mesmo item são semelhantes.

- Existe a possibilidade de se estabelecer um fluxo unidirecional.
- O processo possuía uma alta confiabilidade.
- Não existiam equipamentos que necessitassem ser compartilhados com outras famílias.
- A demanda era alta pois todas as turbinas necessitavam da fabricação de mancais.

Portanto, com base nessa análise pode-se classificar o *loop* como sendo um *loop* bem comportado.

(16) Analisar de capacidade com base no conceito de *Takt Time*.

O *loop* selecionado é composto de 3 tipos de peças: mancais, buchas e anéis. Para esse *loop* o projeto do *layout* foi realizado com base no fluxo de produção de mancais. Isso devido ao fato dos mancais serem os itens de maior complexidade de fabricação e também por serem os mais representativos em termos de custo. Em resumo, pode-se afirmar que os mancais são os itens classe A dentro desse *loop*.

Neste caso, como o projeto estava sendo realizado em função dos mancais estimou-se um tempo de utilização de máquina de 30% para a fabricação dos principais mancais. Os 70% do tempo restante ficou disponível para a produção de buchas, anéis e mancais sob encomenda. Para a definição dessas porcentagens de tempo foram utilizados os históricos de demanda e tempo de produção das peças.

Definidas as taxas de ocupação passou-se ao cálculo do *takt*, como é mostrado a seguir:

$$\textit{Takt Time} = \textit{Tempo disponível} / \textit{Demanda}$$

Tempo disponível: tempo disponível em um determinado período para fabricar determinada peça.

Demanda: demanda da peça no período em análise.

$$\textit{Tempo disponível} = D \cdot H \cdot E \cdot U$$

D = dias úteis trabalhados no período.

H = horas trabalhadas por turno.

E = índice de eficiência

U = tempo de utilização de máquina para a peça em análise

$$Takt\ Time = (20 \times 8 \times 60 \times 0,9 \times 0,3) / 75 = 35 \text{ minutos.}$$

- 20 – Corresponde aos dias úteis de trabalho.
- 08 – Corresponde ao número de horas trabalhadas por turno.
- 60 – Corresponde ao fator de conversão do tempo para minutos.
- 0,9 – Corresponde ao índice de eficiência.
- 75 – Corresponde à demanda no período
- 0,3 – Tempo de utilização

Neste caso converteu-se o *takt time* para minutos porque era mais fácil trabalhar com o valor 35 minutos do que 0,58 horas.

Portanto, quando a área estiver fabricando mancais para o supermercado esta deve ter um ritmo de produção de um mancal a cada 35 minutos.

Após a definição do *takt time* passou-se à análise dos processos para buscar-se identificar os processos com tempo de fabricação acima do tempo *takt*. As atividades que compõe o processo de fabricação dos mancais com os respectivos tempos de processo são apresentados na tabela 19 a seguir:

Tabela 19 Comparativo entre o *takt time* e os tempos de operação

| Macro Processo | Operações do Macro Processo | Tempo (min) | Takt time (min) | Verificação |
|----------------|-----------------------------|-------------|-----------------|-------------|
| Enchimento | Estanhar | 18 | 35 | OK |
| | Preparar | 70 | | NÃO OK |
| | Encher | 18 | | OK |
| | Facear | 15 | | OK |
| Preparação | LP e ajuste | 15 | | OK |
| | Contrapinar | 25 | | OK |
| Usinagem | Usinar | 70 | | NÃO OK |
| | Traçar/furar | 60 | | NÃO OK |
| Ajustagem | Rebarbar | 120 | | NÃO OK |

Na tabela 19 a coluna Verificação indica se o processo atende ou não ao *takt*. Os processos que atendem ao *takt* são marcados como “OK” e os que não atendem como “NÃO OK”. Portanto, pode-se notar facilmente que quatro atividades necessitam de aumento de capacidade: Preparação, Usinagem, Traçagem e Rebarbação.

(17) Dimensionar a quantidade de recursos para o loop.

O gráfico da figura 75, mostra de forma simples os processos nos quais o tempo de operação excede o *takt* time.

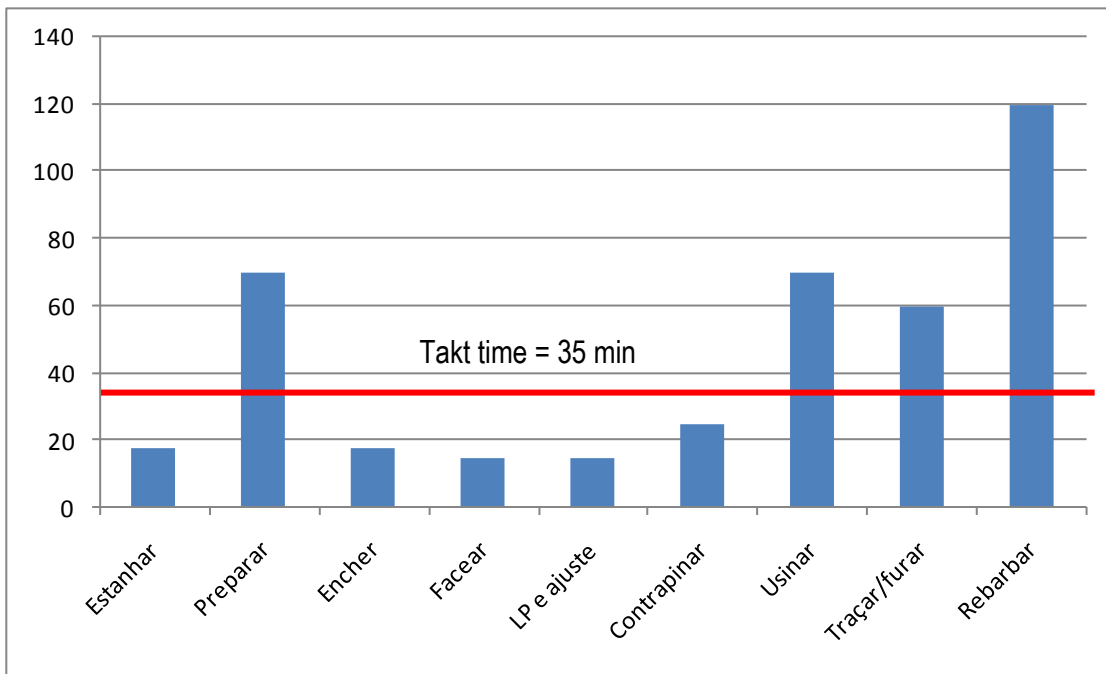


Figura 75 gráfico comparativo entre os tempos de processo e o takt antes do balanceamento das operações

Para se conseguir balancear as operações foram tomadas as seguintes ações:

- Operação de Preparação: por ser uma operação manual, foi inserido mais um operador.
- Operação de Usinagem: para realizar essa operação era utilizado somente um torno mecânico convencional. Neste caso, a empresa adquiriu um torno CNC para conseguir alcançar o *takt* time projetado.
- Operação de traçagem e furação: com a aquisição de um torno CNC, os mancais fabricados neste torno não precisaram mais sofrer as operações de traçagem e furação. Essas operações ficaram restritas a mancais que sofriam operação no torno mecânico. Portanto, com isso conseguiu-se chegar ao tempo *takt* requerido.
- Operação de rebarbação: de forma semelhante à operação de preparação, por ser uma operação manual, foi inserido mais um operador.

O gráfico com os tempos de processo melhor balanceados é apresentado na figura 76 a seguir.

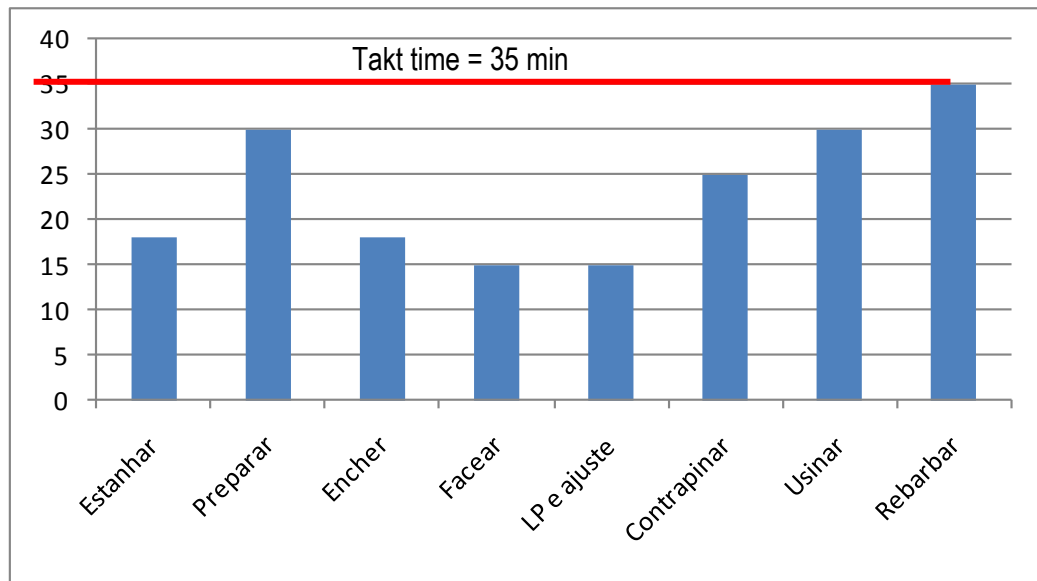


Figura 76 gráfico comparativo entre os tempos de processo e o takt.após o balanceamento das operações

Pode-se observar no gráfico pontos de desnivelamento. Mas isso se deveu a características do próprio processo. Além disso, a preocupação inicial foi reorganizar os processos de forma a atingir o takt. Para os itens que não foram colocados em *kanban* esta mesma análise de capacidade foi realizada.

(18) Dimensionar espaço para estoques e supermercados de Produto Acabado.

Os supermercados foram dimensionados de acordo com a demanda mensal de mancais. A figura 77 apresenta a quantidade dimensionada para o supermercado de mancais. A figura 78 apresenta a quantidade dimensionada para o supermercado de buchas e a figura 79 apresenta a quantidade dimensionada para os modelos de anéis.

Convertendo essas peças em área ocupada foi necessário reservar um espaço de 10 m² para comportar esses 3 supermercados.

Capítulo 8: Estudo de Caso: Empresa de Turbinas de Energia

| MODELOS DE MANCAIS | TAMANHO SUPERMERCADO | MODELOS DE MANCAIS | TAMANHO SUPERMERCADO |
|--|----------------------|--|----------------------|
| 55ME / 70ME - MANCAL RADIAL | 6 | C600 - MANCAL RADIAL AXIAL DE ESCORA | 1 |
| 70ME - CORPO MANCAL RADIAL AXIAL - 70/55ME | 4 | C600 - MANCAL RADIAL | 2 |
| Z50M / Z63M - MANCAL RADIAL DN 80 | 4 | 55CE - MANCAL RADIAL | 2 |
| TM3000S / TM3000FLEX - MANCAL RADIAL - TM 3000 | 2 | TS 500 - MANCAL RADIAL | 1 |
| Z50M / Z63M - MANCAL RADIAL AXIAL | 2 | TMFLEX1000 - MANCAL RADIAL DN70 (POSTERIOR) | 1 |
| 55ME - CONJUNTO MANCAL RADIAL AXIAL (ANTI HORARIO) 70/55ME | 2 | TMFLEX1000 - MANCAL RADIAL AXIAL DN60 (ANTERIOR) | 1 |
| 385ME - MANCAL RADIAL - 385 ME | 2 | 70CE - MANCAL RADIAL - 70 CE | 2 |
| 385ME - MANCAL RADIAL AXIAL (ANTI-HORARIO) 385ME | 2 | Z50/63/80 - MANCAL RADIAL AXIAL | 1 |
| TM1000S - MANCAL RADIAL (QUADRILOBULAR) TM 1000 | 2 | 70CE - MANCAL RADIAL AXIAL | 2 |
| Z50/63/80 - MANCAL RADIAL - DN80 | 2 | Z80 - MANCAL RADIAL DN 90 (POSTERIOR) | 1 |
| ME40 - MANCAL RADIAL AXIAL (QUADRILOBULAR) | 2 | C500 - MANCAL RADIAL | 2 |
| TMFLEX2000 - MANCAL RADIAL - TS 2000 | 2 | Z80ME - MANCAL RADIAL PASTILHADO | 2 |
| TM1000S - MANCAL RADIAL AXIAL (QUADRILOBULAR) TM 1000 | 1 | TM2000 - MANCAL RADIAL QUADRILOBULAR TM2000 | 1 |
| Z50/63/80 - MANCAL RADIAL | 2 | TM2000 - MANCAL RADIAL QUADRILOBULAR TM2000 | 1 |
| TMFLEX2000 - MANCAL RADIAL AXIAL - TM FLEX | 2 | Z80 ME - MANCAL RADIAL AXIAL PASTILHADO | 4 |
| ME40 - MANCAL RADIAL (QUADRILOBULAR) | 2 | U50 - MANCAL RADIAL PERFIL MFG | 1 |
| TS1000 - MANCAL RADIAL TS 1000 | 1 | C500 - MANCAL DE ESCORA | 1 |
| C600 - MANCAL RADIAL | 1 | GT63 - MANCAL RADIAL EIXO DE ALTA | 1 |
| TM3000S - CORPO MANCAL RADIAL AXIAL - TM 3000 | 2 | 40CE - MANCAL RADIAL AXIAL | 2 |
| TM 5000 - MANCAL RADIAL | 1 | Z80 - MANCAL RADIAL AXIAL | 3 |
| 40CE - MANCAL RADIAL | 1 | C500 - MANCAL RADIAL | 1 |
| C700 - MANCAL RADIAL | 1 | C700 - MANCAL RADIAL AXIAL DE ESCORA | 1 |
| 55CE - MANCAL RADIAL AXIAL | 1 | U50 - MANCAL RADIAL PERFIL MFG | 1 |
| C600 - MANCAL RADIAL | 1 | U50 - MANCAL RADIAL AXIAL | 1 |
| 85CE - MANCAL RADIAL AXIAL (CJ) | 1 | 85CE - MANCAL RADIAL AXIAL | 1 |
| C700 - MANCAL RADIAL DN 150 C 700T | 1 | | |

Figura 77 tamanho do supermercado de mancais

| MODELOS DE BUCHAS | TAMANHO SUPERMERCADO | MODELOS DE BUCHAS | TAMANHO SUPERMERCADO |
|--|----------------------|---|----------------------|
| 55ME / 70ME - Bucha ranhurada anterior labirinto | 7 | 40ME - Bucha ranhurada compensação | 1 |
| 70ME - Bucha ranhurada compensação | 4 | 85ME - Bucha labirinto compensação | 1 |
| TM1000S / TM1000 / TM2000 - Bucha labirinto | 4 | TMFLEX2000 - Bucha ranhurada compensação | 1 |
| 385ME / 85ME - Bucha ranhurada | 5 | Z50M / Z63M - Bucha labirinto anterior e posterior | 1 |
| TM3000S - Bucha ranhurada | 3 | TMFLEX1000 - Bucha ranhurada posterior e anterior | 1 |
| TM3000ES - Bucha labirinto | 3 | CE40 - Bucha labirinto ant/post | 1 |
| Z50/63/80 - Bucha ranhurada compensação | 3 | TM15000A / TM8000 - Bucha compensação (matéria prima) | 1 |
| TM1000S - Bucha ranhurada compensação | 3 | TM3000ES - Bucha labirinto compensação | 1 |
| Z50M/63M/80M - Bucha labirinto 5 pontas | 3 | TMFLEX1000 - Bucha ranhurada | 1 |
| TS1000 - Bucha ranhurada anterior posterior TS1000 | 3 | TMFLEX1000 - Bucha ranhurada compensação | 1 |
| Z50M/63M/80M - Bucha labirinto 5 pontas | 2 | TM3000S - Bucha ranhurada compensação | 1 |
| TM3000 - Bucha labirinto compensação | 2 | TM3000S - Bucha compensação - TM 3000 | 1 |
| TMFLEX2000 - Bucha labirinto | 2 | TM15000 - Bucha de compensação (matéria prima) | 1 |
| TS500 - Bucha ranhurada anterior posterior TS500 | 2 | TMFLEX3000 - Bucha ranhurada | 0 |
| ME40 - Bucha labirinto | 2 | TMFLEX3000 - Bucha ranhurada compensação | 0 |
| TM15000A / TM8000 - Bucha ranhurada ant post (matéria prima) | 1 | | |

Figura 78 tamanho do supermercado de buchas

| MODELOS DE ANÉIS | TAMANHO SUPERMERCADO | MODELOS DE ANÉIS | TAMANHO SUPERMERCADO |
|---|----------------------|--|----------------------|
| Z50M - Anel de vedação de óleo | 10 | 385ME - Anel de vedação espaçadores | 1 |
| TMFLEX1000 / TMFLEX 2000 / 40ME / TM2000 - Anel de vedação de óleo posterior interior | 5 | 385ME - Anel de vedação de óleo defletor | 2 |
| TMFLEX1000 / TMFLEX2000 / 40ME / TM2000 - Anel de vedação de óleo | 4 | C600 - Anel de vedação de alta | 2 |
| 55ME - Anel de vedação de óleo | 4 | TM5000 - Anel de vedação post externo | 2 |
| 70ME - Anel de vedação | 5 | TM3000S / TMFLEX3000 / TM3000 - Anel de vedação de óleo anterior | 1 |
| TMFLEX2000 / 40ME / TM2000 - Anel de vedação de óleo anterior | 6 | 85ME - Anel de vedação | 1 |
| 385ME - Anel de vedação de óleo | 3 | TM8000 - Anel de vedação de óleo anterior | 2 |
| TM1000S / TS1000 - Anel de vedação de óleo | 2 | TM5000 - Anel de vedação anterior | 3 |
| 55ME - Anel de vedação de óleo defletor (complemento) | 2 | TM1000S / TM1000 - Anel de vedação de óleo posterior interior | 3 |
| TS500 - Anel de vedação | 2 | TM5000 - Anel de vedação post int | 1 |
| Z50M/63M/80M - Anel de vedação de óleo com encaixe ext | 2 | C700 - Anel de vedação de alta | 2 |
| TM1000S / TM1000 - Anel de vedação de óleo anterior | 2 | Equipe - Anel de vedação equipe diam 65mm | 2 |
| TS500 - Anel de vedação | 2 | C500 - Anel de vedação de alta | 1 |
| TM3000S / TMFLEX3000 / TM3000 - Anel de vedação de óleo posterior interior | 2 | Equipe - Anel de vedação equipe diam 50mm | 1 |
| TM3000S / TMFLEX3000 / TM3000 - Anel de vedação de óleo posterior externo | 2 | Equipe - Anel de vedação equipe diam 70mm | 1 |
| 55CE - Anel de vedação de óleo | 2 | TM25000A - Anel de vedação de óleo | 1 |
| 40CE - Anel de vedação de óleo | 1 | Z80 - Anel de vedação de óleo | 1 |

Figura 79 tamanho do supermercado de anéis

(19) Verificar a possibilidade de fazer FIFO sem estoques intermediários

A análise do fluxo de processo mostrou a necessidade da existência de um ponto de supermercado e um pulmão de peças interno ao processo. A figura 80 apresenta de maneira macro uma representação esquemática dos pontos de pulmão e supermercado ao longo do processo.

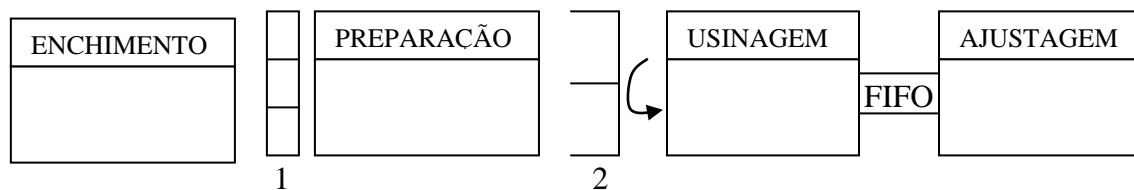


Figura 80 Pontos de pulmão e supermercado

O ponto 1 representa um ponto de pulmão de peças. Ou seja, neste caso em particular, o processo de Enchimento (o qual compreende três atividades: Preparar, Estanhar e Encher) opera em dois turnos ao passo que o processo de Preparação opera em um turno. Durante o período em que o processo de Preparação não está sendo realizado acumulam-se peças geradas pelo processo de Enchimento. Quando o processo de Preparação inicia suas atividades esse consome as peças acumuladas e as peças produzidas naquele turno pelo processo de Enchimento.

O ponto 2 representa um supermercado o qual é controlado por um sistema *kanban*.

Portanto, de acordo com a situação futura projetada não foi possível estabelecer um fluxo contínuo sem estoques intermediários. Logo, foi necessário que o *layout* contemplasse espaços para esses pontos de supermercados e pulmões de peças.

Entre os motivos que levaram à não possibilidade de se criar um fluxo contínuo sem estoques intermediários pode-se citar: As restrições de processo (necessidade do torno mecânico criar um “pega” nas peças para o torno CNC); e a necessidade de se criar um pulmão de peças antes do processo de preparação para que esse não ficasse no início do turno sem trabalho a realizar.

(23) Localizar dimensionar espaços para os pulmões de peças.

Neste caso, como não foi possível fazer um fluxo contínuo sem estoques intermediários partiu-se para o passo 23 do método, dimensionamento e localização dos pontos de supermercados.

Diferentemente da maioria dos demais componentes da turbina os mancais são peças pequenas. Portanto, para armazenar as peças depois do processo de Enchimento e depois do processo de Preparação foram projetadas duas prateleiras. A figura 81 apresenta uma foto da prateleira projetada com alguns mancais. Essa prateleira corresponde ao supermercado de mancais antes do processo de Usinagem.



Figura 81 Prateleira para armazenamento de peças

A figura 81 apresenta as demarcações que delimitam o máximo de peças possíveis no supermercado. Ou seja, dessa forma, um excesso de estoque no processo é rapidamente detectado porque não existe espaço físico disponível no *layout* para comportar excessos de peças além da quantidade máxima projetada para o supermercado.

(24) Projetar o módulo do *loop* indicando os elementos restritivos e os pontos de supermercados/pulmões.

Na concepção do *layout* foi utilizado o conceito de células de fabricação. Embora não tenha se conseguido estabelecer um fluxo contínuo ao longo de todo o processo de fabricação de mancais em alguns pontos isso foi possível.

A figura 82 apresenta em detalhes o *layout* inicial do setor de mancais com o fluxo padrão dos principais modelos de mancais.

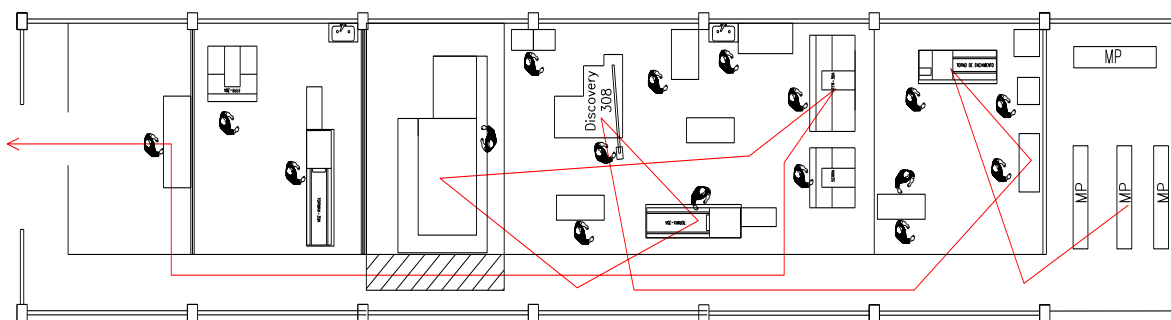


Figura 82 *Layout* inicial em detalhes do setor de mancais

Entre os principais problemas identificados no processo pode-se destacar:

- Fluxo não organizado: como se pode observar o fluxo de processo é bastante complicado com inúmeros pontos de refluxo e cruzamento de fluxo.
- Excesso de movimentação: devido ao fluxo as peças e operadores terminam por percorrer uma distância muito grande para serem fabricadas.
- Falta de local definido para o material em processo: não há local definido para armazenar os mancais em fabricação.

Quanto aos elementos restritivos neste caso não foi identificado nenhum equipamento que não poderia ser movimentado para um novo local ou qualquer restrição do prédio quanto à pontes rolantes.

Após a análise da situação atual passou-se ao projeto da situação futura. Alguns pontos levados em consideração na construção do novo *layout* foram:

- Organização dos equipamentos de forma a permitir um fluxo unidirecional.
- Organização dos tornos mecânicos de forma que no futuro, com a estabilização e balanceamento do processo, um único operador pudesse operar os dois equipamentos.

- Delimitação das áreas de supermercados e pontos de pulmão de peças.

A figura 83 apresenta o *layout* projetado para esta família.

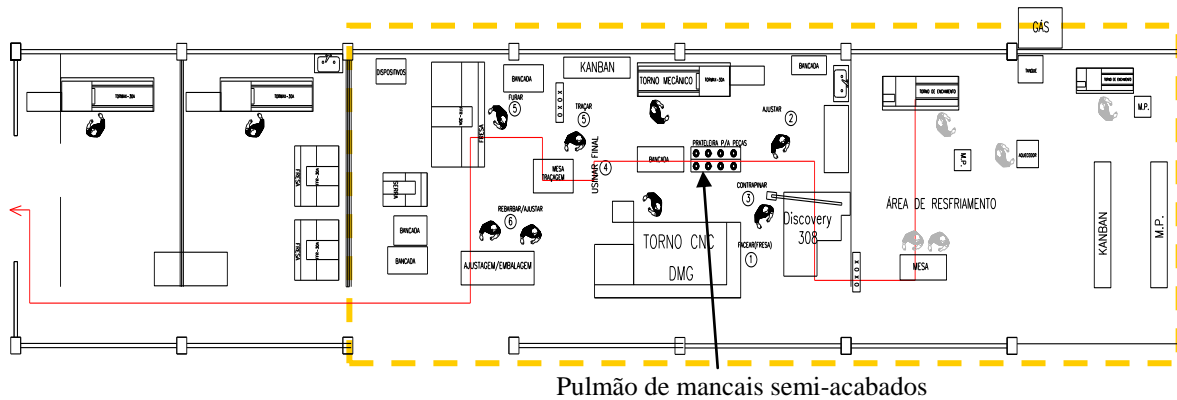


Figura 83 Layout projetado para a família de mancais

Analisando o *layout* formulado pode-se observar um fluxo unidirecional e menos caótico do que no *layout* inicial. Além disso, pode-se observar claramente a área de pulmão de peças para os materiais que ainda estão em processo e sofrerão operação nos dois tornos. E, como mencionado anteriormente, os tornos ficaram próximos de forma que no futuro um único operador possa operar os dois equipamentos.

Além disso, a última etapa do processo, a etapa de acabamento e verificação dos mancais, buchas e anéis, era realizada em uma bancada distante dos locais de produção, no final do prédio, como pode ser observado no *layout* inicial. No *layout* projetado essa bancada ficou próximo do torno CNC. O maior ganho obtido com essa aproximação foi a gestão visual do status das peças. Com as operações de acabamento e inspeção sendo realizadas distantes do último processo de fabricação perdia-se facilmente a noção de prioridade das peças. Ao aproximar-se a bancada da área tornou-se mais simples aos operadores e aos gestores priorizarem as peças urgentes.

(25) Fixar o módulo projetado como um *building block*.

Finalizado o projeto do *layout* este foi fixado como um *building block* para ser avaliado pela equipe de projeto.

(22) O módulo projetado é satisfatório?

Uma análise do *building block* projetado demonstrou:

- Redução da movimentação de 240 metros para 60 metros.

- Melhoria da organização do espaço físico com demarcação de áreas de pulmões de peças.
- Redução da área utilizada.
- Organização do fluxo de processo (eliminação do cruzamento de fluxos).

Portanto, o *loop* projetado foi classificado como satisfatório. Com isso, passou-se a etapa de projeto do próximo *loop*.

Esse processo de projeto dos *loops* foi realizado para todas as famílias de componentes identificadas. O diagrama de espaguete da situação inicial e o diagrama de espaguete dos *layouts* projetados são apresentados no apêndice 1.

(33) Retirar do *layout* todas máquinas e equipamentos deixando apenas os elementos restritivos.

A figura 84 apresenta o *layout* da fábrica apenas com os elementos restritivos identificados anteriormente na definição dos *building blocks*.

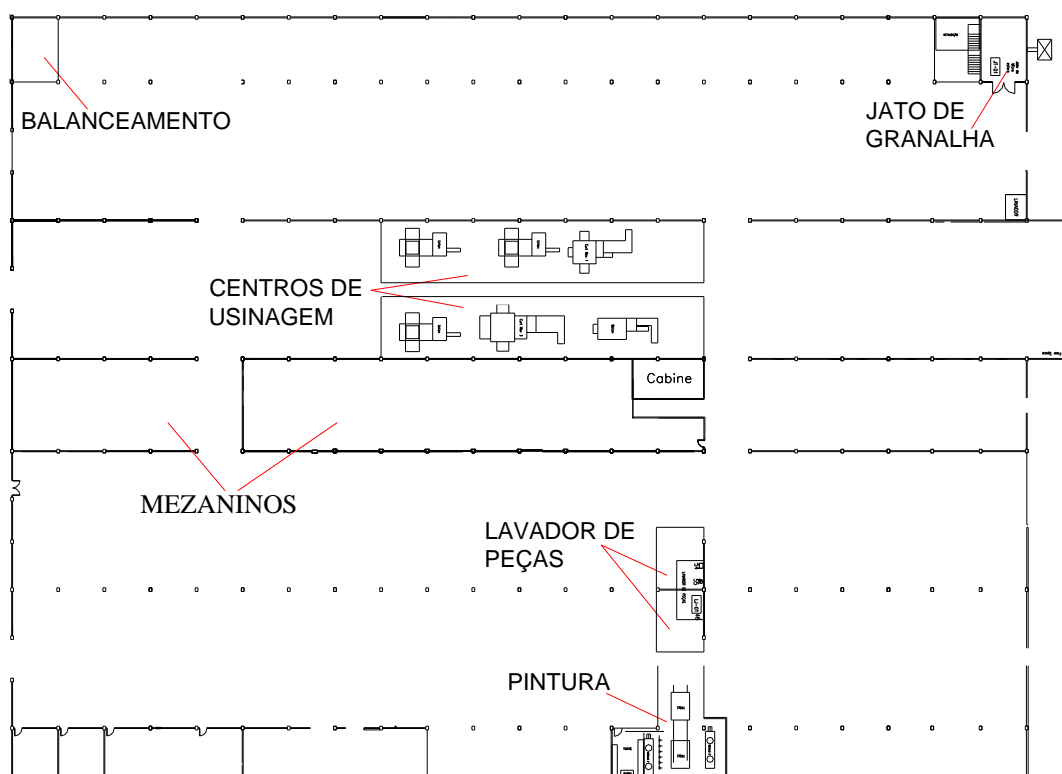


Figura 84 Elementos restritivos identificados

(34) Verificar se existem componentes não *best sellers* que possam compartilhar famílias de componentes *best sellers*.

Os demais componentes não *best sellers* foram distribuídos pelas famílias de *best sellers*. Como mencionado anteriormente, no projeto dos módulos foi considerado uma parte do tempo disponível para a fabricação dos itens não *best sellers*. Apenas para os itens não *best sellers* da Usinagem Leve foi desenvolvido um *layout* de mini-fábrica, como será apresentado a seguir.

(39) Projetar mini-fábrica para os produtos/componentes restantes. Utilizar conceito de *layout* funcional privilegiando os fluxos.

Na Usinagem leve ocorre dois fluxos principais. O fluxo do Eixo Simples (Item *best seller*) e demais componentes não *best sellers*.

Para o projeto do *layout* foi utilizado o conceito de mini-fábrica. Neste caso a mini-fábrica de Usinagem Leve foi particionada em duas seções. Seção 1, com os equipamentos organizados seqüencialmente de forma a promover um fluxo unidirecional para o eixo simples. E a seção 2, com os equipamentos dispostos de maneira funcional. A figura 85 apresenta o *layout* projetado com o macro fluxo dos itens.

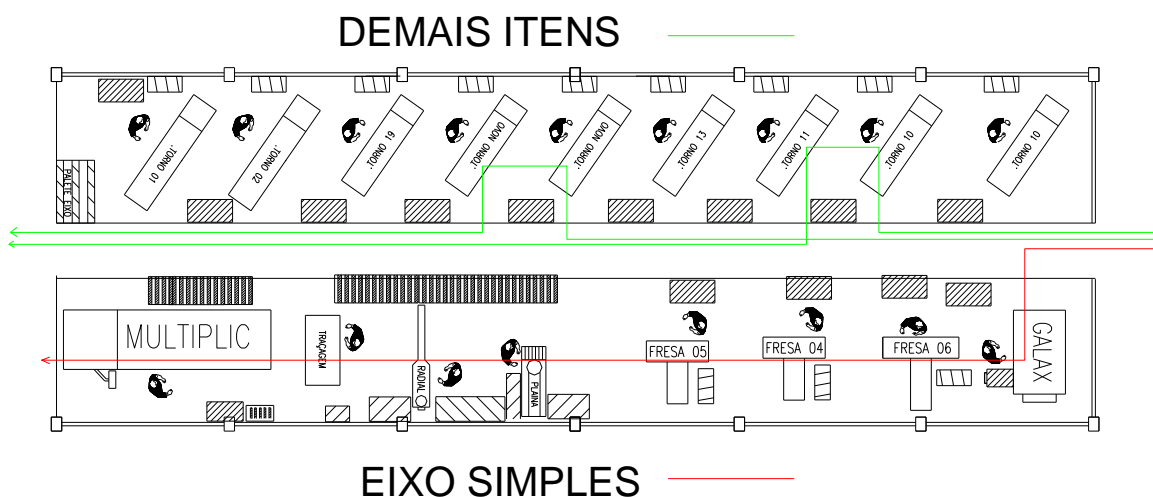


Figura 85 Mini-fábrica de usinagem

Como se pode observar na figura 85 a mini-fábrica ficou particionada em duas seções principais. Deve-se apenas destacar que embora os equipamentos estejam dispostos na seqüência de processamento do eixo simples não foi possível estabelecer um fluxo contínuo e

unitário de peças, principalmente, devido à discrepância entre os tempos de processamento nas diversas operações.

(40) Fixar o *building block* projetado.

O *building block* gerado foi considerado satisfatório e fixado.

(41) Alocar os *building blocks* com base nos elementos restritivos.

Gerado os *layouts* individuais de cada *building block* foi iniciada a atividade de alocação dos *building blocks* com base nos elementos restritivos já apresentados. A figura 86 apresenta a distribuição dos *building blocks* projetados.

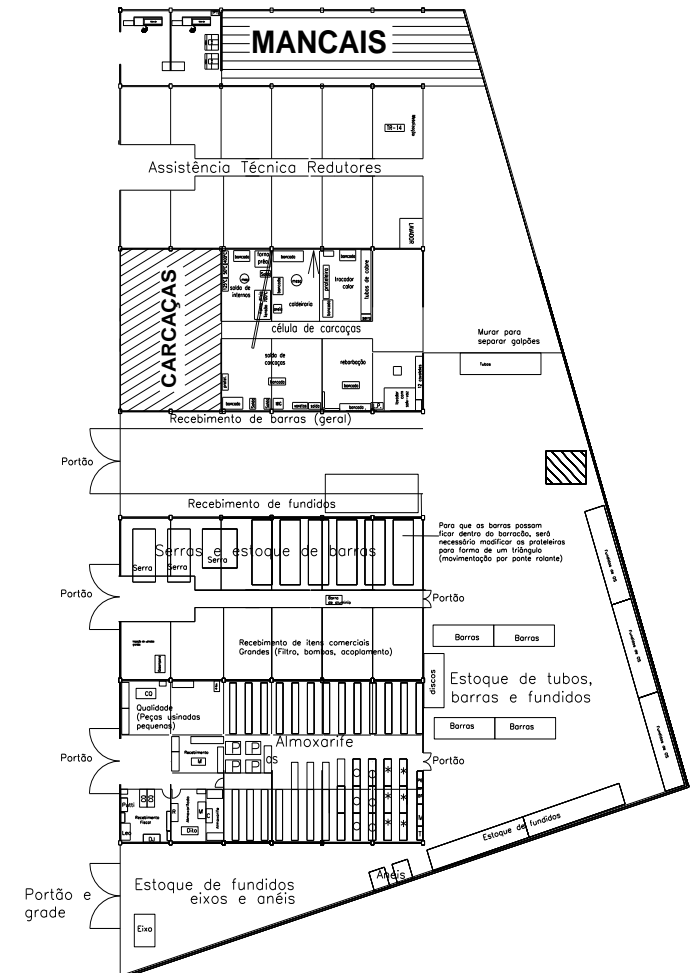
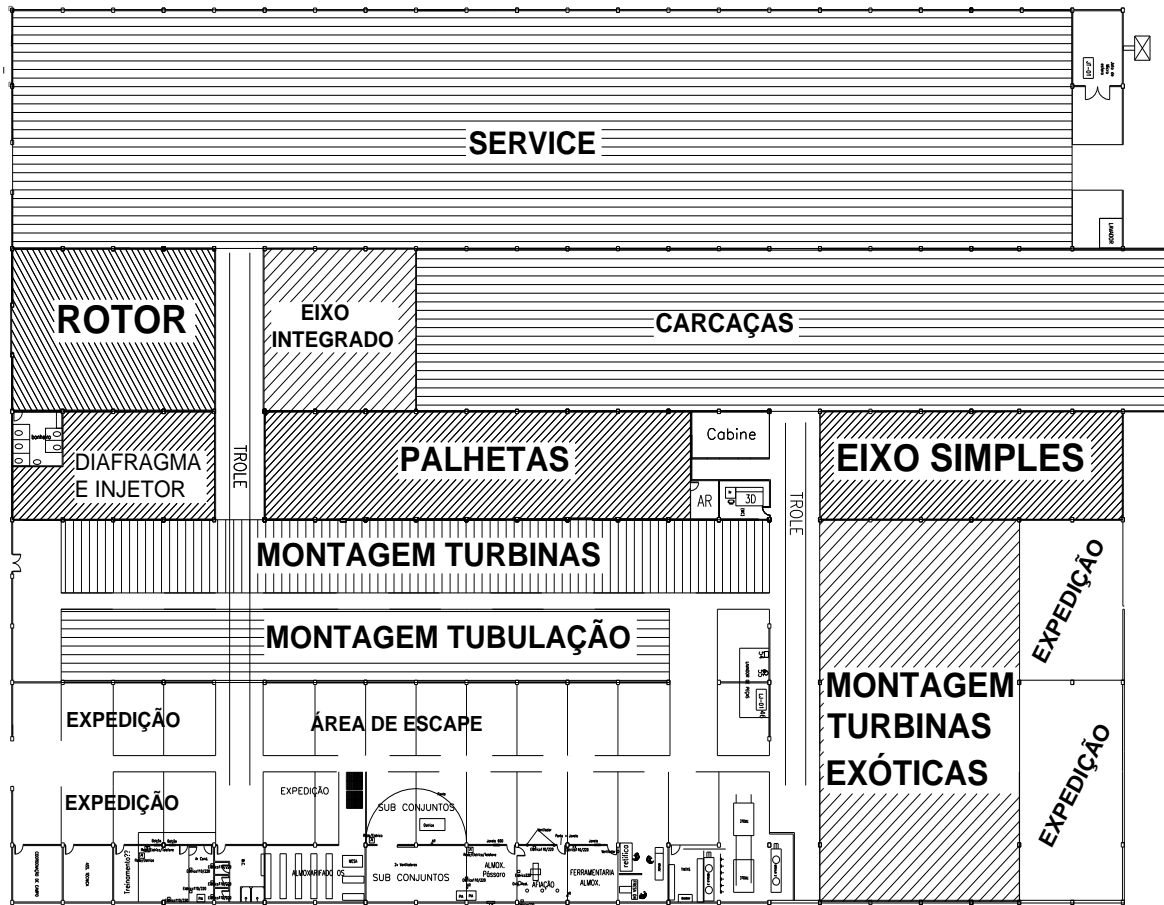


Figura 86 Distribuição dos building blocks

A distribuição dos *building blocks* foi realizada de acordo com o fluxo de materiais e os elementos restritivos. O local onde foi alocado Diafragmas e Injetores e Palhetas não permitia que equipamentos de grande porte pudessem ser alocados neste local devido à restrição de altura do prédio. Existe um mezanino que comporta os departamentos de Engenharia, Controle da Produção e salas de treinamento que se encontram alocados em um piso superior nesta região. Portanto, equipamentos de grande porte e principalmente, de altura elevada, não puderam ser alocados neste local.

A alocação das carcaças no ponto identificado deve-se ao fato dos equipamentos de usinagem de carcaça terem sido identificados como elementos restritivos e não puderam ser movimentados. Com isso, as operações realizadas na carcaça, antes da montagem, foram condensadas na área apresentada.

Um ponto a se destacar, devido ao aumento da demanda, e da conseqüente necessidade de usinagem de carcaças em outras empresas devido à falta de capacidade de produção, foram adquiridos dois centros de Usinagem de dimensões gerais de 17m x 8 m. Por isso, existiu uma necessidade de realizar as primeiras operações de fabricação da carcaça no barracão ao lado.

Um outro ponto a se destacar é a montagem de turbinas exóticas (turbinas especiais de proporções maiores do que as turbinas classificadas como grandes). Algumas turbinas possuem dimensões que excedem a capacidade atual do peso que o piso suporta. Por isso, foi necessário construir uma área específica para a montagem de turbinas exóticas.

(42) Fazer Diagrama de Espaguete entre os *buildings blocks*.

A figura 87 apresenta o fluxo macro entre os *building blocks* formados.

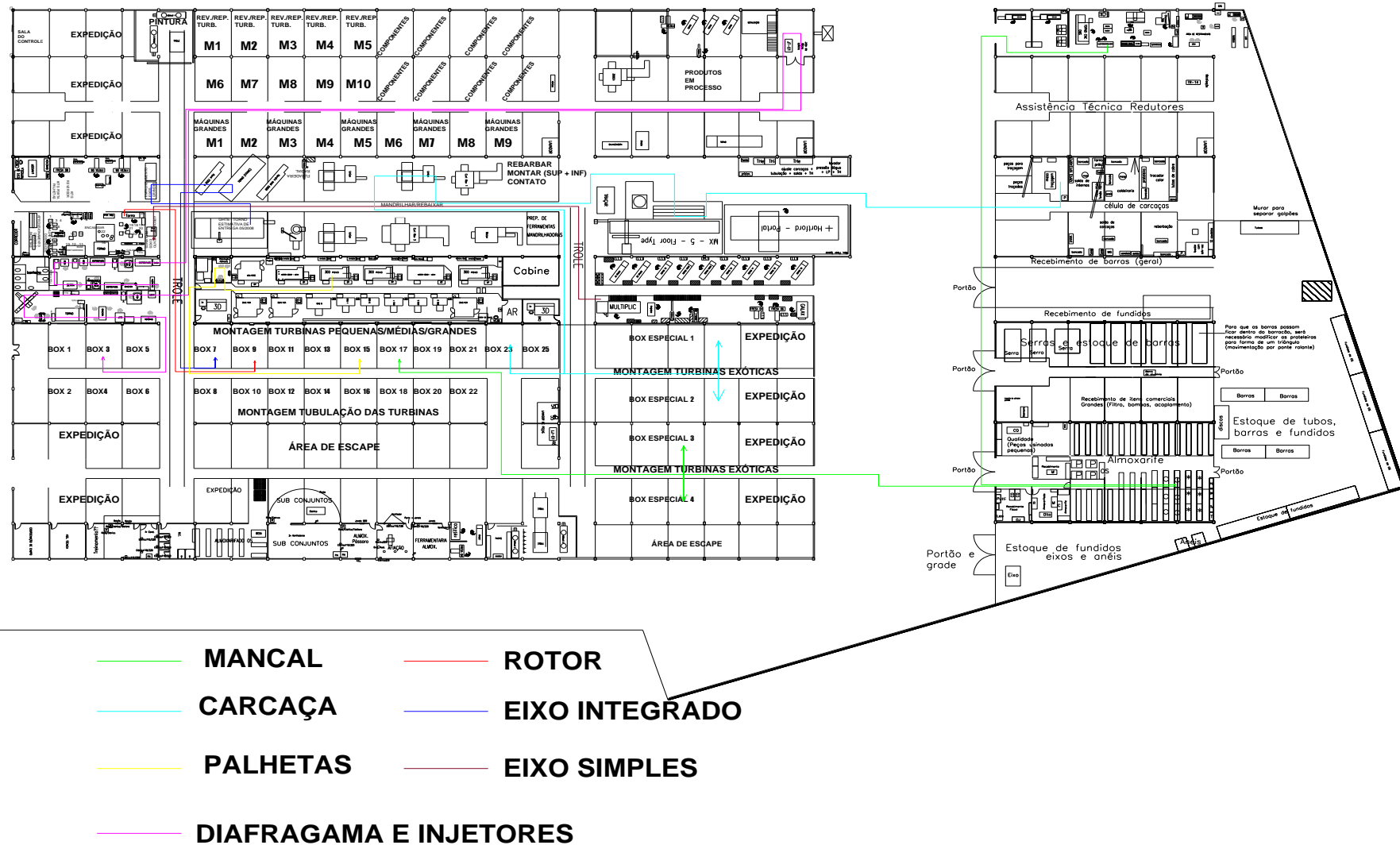


Figura 87 Diagrama de Espaguete entre os building blocks

Entre algumas das vantagens do *layout* projetado pode-se destacar a redução da movimentação de material existente na fábrica e a maior facilidade de controle da produção. Os fluxos de materiais passaram a se concentrar internamente aos *building blocks* formados. As peças são movidas externamente ao respectivo *building block*, em sua maioria, apenas para a área de montagem de turbinas. Além disso, os fluxos passaram a ser mais ordenados.

(43) Levantar distância percorrida pelos fluxos de peças/produtos

As novas distâncias percorridas pelas famílias estão apresentadas na tabela 20 a seguir.

Tabela 20 Comparativo entre as distâncias percorridas pelas famílias no *layout* inicial e no *layout* proposto.

| Família de Componentes | Movimentação Antes (metros) | Movimentação Depois (metros) | Redução |
|------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------|
| Mancal, Bucha e Anel | 240 | 60 | 75% |
| Carcaça | 2100 | 750 | 65% |
| Diafragma e Injetores | 3100 | 400 | 88% |
| Rotor | 2700 | 1300 | 52% |
| Palhetas | 350 | 150 | 58% |
| Eixo Integrado | 4000 | 900 | 78% |
| Eixo Simples | 2700 | 600 | 78% |
| Total | 15190 | 4160 | 73% |

Como se pode observar ocorreu uma diminuição muito significativa da movimentação total. Deve-se sempre levar em consideração que os produtos são de grande porte e exigem equipamentos especiais para transporte. Portanto, essa redução de movimentação através da criação de módulos de produção torna-se muito importante para fazer fluir o fluxo de materiais na fábrica.

(44) Fazer análise da alternativa de *layout* indicando as vantagens e desvantagens

O apêndice 1 apresenta os fluxos de materiais no *layout* inicial e no *layout* projetado. Observa-se que para todas as famílias o fluxo das peças tornou-se melhor definido e houve uma redução de movimentação e cruzamento de fluxos.

Entre as famílias identificadas a que sofreu menor alteração no *layout* foi a família de carcaças. Mas com a aquisição de novos equipamentos algumas operações na fabricação da carcaça foram eliminadas devido à tecnologia incorporada a esses equipamentos adquiridos.

Conseqüentemente, houve uma melhor organização do fluxo de produção da família e uma redução da movimentação.

Com o projeto do novo *layout* pode-se destacar como melhorias alcançadas os seguintes pontos:

- Redução da movimentação de materiais e pessoas: para todas as famílias de produtos ocorreu uma redução de movimentação. A redução total de movimentação foi de 41%, ou seja, antes para se fabricar uma turbina operadores e peças moviam-se 16Km. No *layout* projetado essa distância passou a ser de 9,4Km.
- Melhoria da gestão visual: a disposição física dos equipamentos no início do projeto não permitia que os gerentes conseguissem ver a totalidade do fluxo pelo qual são responsáveis. O *layout* projetado possibilitou aos gerentes terem uma visão de todo o fluxo de processo, viabilizando um melhor controle de produção. Com isso, pode-se detectar facilmente qualquer operação que possa estar com algum problema para fazer o fluxo de produção fluir e rapidamente intervir do no processo, através da identificação e eliminação dos problemas de produção..
- Inserção de novos equipamentos sem aumento significativo da área inicial: devido a existência de falta de capacidade nas operações de usinagem foram adquiridos alguns equipamentos de grande porte. Esses equipamentos foram inseridos sem causar um aumento significativo da área anteriormente ocupada.
- Organização do fluxo de processo: Para todas as famílias os equipamentos foram dispostos sempre que possível na correta seqüência de fabricação. Em alguns casos, como nas famílias de mancais e diafragmas foram criadas células de produção. Com isso, foram eliminados muitos cruzamentos de fluxos e movimentações.
- Possibilitou a implantação de fluxo contínuo e unitário em alguns pontos: para alguns módulos projetados o *layout* possibilitou a implantação de um fluxo contínuo e unitário de peças.
- Definição de pontos de supermercados: No *layout* projetado estão definidas as áreas de supermercados. Dessa forma, excessos de estoques podem ser rapidamente detectados.

- Definição de áreas para montagem de turbinas exóticas: existe uma perspectiva de aumento do mercado de turbinas de grande porte. No *layout* projetado existe uma área específica, com pontes rolantes de 40ton. e piso com capacidade para suportar esses produtos.
- Melhoria da comunicação entre os setores (módulos). A aproximação dos módulos permitiu que os gerentes de processo pudessem visualmente detectar atrasos nos demais setores devido à proximidade dos módulos.

Como desvantagens do *layout* projetado, podem-se destacar:

- Distanciamento do Jato de Granalha do *building block* da família de diafragmas e injetores. Conforme identificado na análise dos *building blocks* o jato de granalha foi considerado um elemento restritivo, isso devido ao fato da dificuldade e o custo envolvido na instalação do equipamento em outra área, além de questões ambientais de saúde e segurança no trabalho.
- Distanciamento entre as primeiras operações de fabricação da Carcaça e o processo de Usinagem. De forma análoga ao jato de granalha os centros de usinagem da família de carcaças foram identificados como elementos restritivos. Para cada equipamento era necessário construir fundações especiais além da necessidade de apoio técnico das empresas de fabricação dos equipamentos para aferi-los após a movimentação. Com isso, o custo de movimentação dos equipamentos tornou essa possibilidade inviável.

(45) A alternativa de *layout* projetada é satisfatória.

Levando-se em consideração as vantagens e desvantagens da alternativa projetada, e as limitações impostas pelos elementos restritivos as quais levaram à formulação dessa alternativa, o *layout* projetado foi considerado como satisfatório. A figura 88 apresenta o *layout* final projetado desse estudo de caso.

Finalizada a etapa de projeto passou-se à Terceira Etapa do Modelo, a Implantação e Acompanhamento, a qual está descrita a seguir.

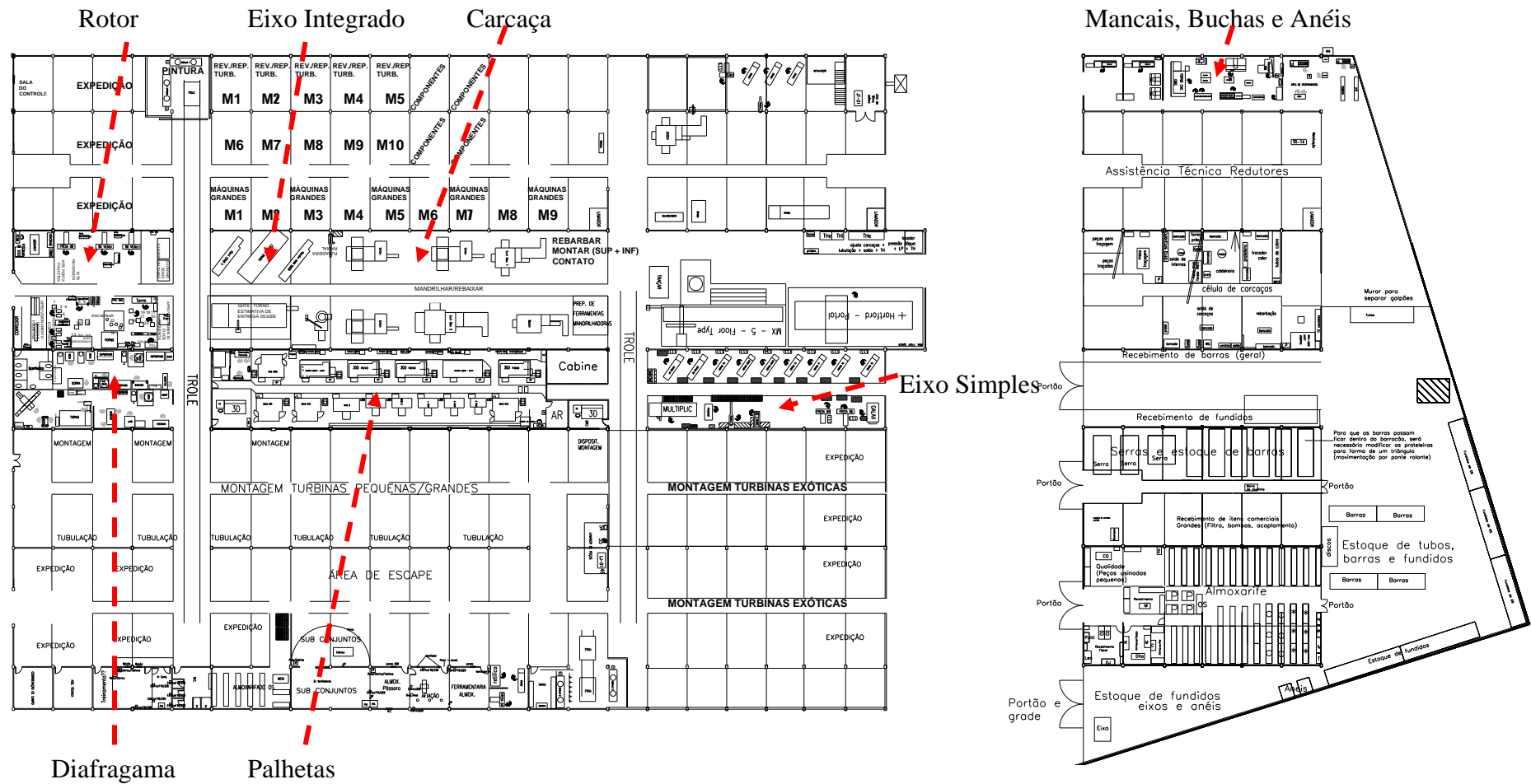


Figura 88 Layout final projetado

8.4 Terceira Etapa - Implantação e Acompanhamento.

Esta etapa consistiu do planejamento da seqüência de mudanças, da realização das mudanças e do acompanhamento dos resultados obtidos. As atividades desenvolvidas nessa etapa são apresentadas a seguir.

(46) Planejar a mudança utilizando o conceito de evento *kaizen*.

A seqüência definida dos eventos *kaizens* foi:

- Evento *Kaizen* 1: Implantar *layout* da família de Mancais, Buchas e Anéis.
- Evento *Kaizen* 2: Implantar *layout* da família de Eixo Simples.
- Evento *Kaizen* 3: Implantar *layout* da família de Palhetas
- Evento *Kaizen* 4: Implantar *layout* da família de Rotores.
- Evento *Kaizen* 5: Implantar *layout* da família de Diafragma e Injetores.
- Evento *Kaizen* 6: Implantar *layout* da família de Carcaças
- Evento *Kaizen* 7: Implantar *layout* da família de Eixo Integrado.

(47) Definir as ações: Pré-*kaizen* e *Kaizen*.

Para cada um dos eventos *kaizens* realizados foi definido um *scheduling* das atividades a serem realizadas durante a semana. A figura 89 a seguir apresenta o *scheduling* das ações para a família de mancais

| Horário | Segunda | Equipe | Horário | Terça | Equipe |
|---------|--|--------|---------|--|--------|
| 07:00 | Horário Livre para Atividades Gerais | 1, 2 | 07:00 | Horário Livre para Atividades Gerais | |
| 08:00 | Horário Livre para Atividades Gerais | 1, 2 | 08:00 | Definição do mix diário do TPT | 1 |
| 09:00 | Apresentação Evento Kaizen e Sit.Futura Mancais | 1, 2 | 09:00 | Definição do mix diário do TPT | 1 |
| 10:00 | Treinamento Dinâmica dos Kanban, Programação dos Quadros e 5S | 1, 2 | 10:00 | Definir dinâmica de transporte interno, coleta de cartão e responsável | 1 |
| 11:00 | Planejamento da Semana | 1, 2 | 11:00 | Definir dinâmica de transporte interno, coleta de cartão e responsável | 1 |
| 12:00 | Almoço | | 08:00 | Implantar novo layout | 2 |
| | | | 09:00 | Implantar novo layout | 2 |
| 14:00 | Revisar e validar os novos padrões de trabalho | 1, 2 | 10:00 | Implantar novo layout | 2 |
| 15:00 | Projetar procedimento de abastecimento FIFO entre o Enchimento e o Faceamento | 1, 2 | 11:00 | Implantar novo layout | 2 |
| 16:00 | Definir estratégia de balanceamento da operação "realizar pega" entre o torno convencional e a DMG (Pulmão de peças com o pega feito controlado via pto reposição) | 1, 2 | 12:00 | Almoço | |
| | | | 14:00 | Implantar novo layout | 1, 2 |
| | | | 15:00 | Implantar novo layout | 1, 2 |
| | | | 16:00 | Implantar novo layout | 1, 2 |

| Horário | Quarta | Equipe | Horário | Quinta | Equipe |
|---------|--|--------|---------|---|--------|
| 07:00 | Horário Livre para Atividades Gerais | | 07:00 | Horário Livre para Atividades Gerais | |
| 08:00 | Definir formas de armazenagem e implantar os pontos de supermercado de mancais | 1 | 08:00 | Treinar todos os operadores do setor em kanban e novos padrões de trabalho | 1,2 |
| 09:00 | Definir formas de armazenagem e implantar os pontos de supermercado de mancais | 1 | 09:00 | Treinar todos os operadores do setor em kanban e novos padrões de trabalho | 1,2 |
| 10:00 | Definir formas de armazenagem e implantar os pontos de supermercado de mancais | 1 | 10:00 | Implantar os novos padrões de trabalho (Células e Kanbans) | 1,2 |
| 11:00 | Definir formas de armazenagem e implantar os pontos de supermercado de mancais | 1 | 10:00 | Implantar os novos padrões de trabalho (Células e Kanbans) | 1,2 |
| 08:00 | Implantar novo layout | 2 | 11:00 | Implantar os novos padrões de trabalho (Células e Kanbans) | 1,2 |
| 09:00 | Implantar novo layout | 2 | 12:00 | Almoço | |
| 10:00 | Implantar novo layout | 2 | 14:00 | Implantar os novos padrões de trabalho (Células e Kanbans) | 2 |
| 11:00 | Implantar novo layout | 2 | 15:00 | Implantar os novos padrões de trabalho (Células e Kanbans) | 2 |
| 12:00 | Almoço | | 16:00 | Realizar análise para reduzir tempo da Preparação no processo de Enchimento | 2 |
| 14:00 | Definir e implantar organização de ferramentas | 2 | 14:00 | Preparar apresentação final do Evento Kaizen | 1 |
| 15:00 | Definir e implantar organização de ferramentas | 2 | 15:00 | Preparar apresentação final do Evento Kaizen | 1 |
| 16:00 | Definir e implantar organização de ferramentas | 2 | 16:00 | Preparar apresentação final do Evento Kaizen | 1 |
| 14:00 | Definir processo de recebimento de MP dos Mancais | 1 | | | |
| 15:00 | Definir processo de recebimento de MP dos Mancais | 1 | | | |
| 16:00 | Definir processo de recebimento de MP dos Mancais | 1 | | | |

| Horário | Sexta |
|---------|--|
| 07:00 | Horário Livre para Atividades Gerais |
| 08:00 | Pulmão de Tempo |
| 09:00 | Pulmão de Tempo |
| 10:00 | Realizar apresentação do Evento Kaizen |
| 11:00 | Realizar apresentação do Evento Kaizen |
| 12:00 | FIM DO EVENTO KAIZEN |

Figura 89 Planejamento das ações kaizens a serem realizadas

(48) Definir equipe de mudança.

Neste estudo de caso, as equipes de mudanças foram compostas sempre do coordenador da área de mudança, de funcionários da área de mudança, um funcionário da engenharia, um funcionário da área de manutenção e um operador de empilhadeira.

(49) Realizar o Evento *Kaizen*.

Como mencionado anteriormente, foram necessários sete eventos *kaizens* para implantar as mudanças propostas. As fotos apresentadas na figura 90 mostram alguns momentos do evento *kaizen* de mancais.



Figura 90 Fotos do evento *kaizen* de mancais

(50) Acompanhar para estabilizar as mudanças.

Como forma de acompanhamento e consolidação das mudanças implantadas, mudanças essas físicas e de sistemas de controle, foram realizadas visitas semanais à área. Nessas visitas o gestor apresentava à equipe de projeto o status da maturidade dos novos processos.

Quanto à parte de organização do setor foi formulado um *check list* de acompanhamento de 5S. A figura 91 apresenta o *check-list* desenvolvido para a família de mancais, buchas e anéis.

| Avaliação | | Resultado | | | | |
|---------------------------------|---|-----------|---------|-----|------|------------|
| | | SIM | PARCIAL | NÃO | NOTA | OBSERVAÇÃO |
| 1 | Senso de Separação ou Descarte | | | | | |
| 1.1 | Existem somente itens que são necessários na seção? | | | | | |
| 2 | Senso de Organização | | | | | |
| 2.1 | As peças estão devidamente identificadas? | | | | | |
| 2.2 | As prateleiras dos dispositivos estão devidamente identificadas? | | | | | |
| 2.3 | As prateleiras dos kanbans estão devidamente identificadas? | | | | | |
| 2.4 | As peças estão devidamente localizadas em suas respectivas formas de armazenagem? | | | | | |
| 2.5 | Os componentes estão devidamente localizados em suas respectivas formas de armazenagem? | | | | | |
| 2.6 | Todos os itens necessários estão presentes na área? | | | | | |
| 2.7 | As bancadas de trabalho estão organizadas? | | | | | |
| 2.8 | As ferramentas fora dos quadros de ferramentas estão sendo utilizadas? | | | | | |
| 2.9 | Os cartões estão nos locais corretos e em número certo? | | | | | |
| 2.10 | Todos os quadros e cartões estão em bom estado? | | | | | |
| 3 | Senso de Limpeza | | | | | |
| 3.1 | O chão está limpo, sem óleo e sem peças espalhadas pelo chão | | | | | |
| 3.2 | As bancadas estão limpas? | | | | | |
| 3.3 | As prateleiras estão limpas? | | | | | |
| 4 | Senso de Conservação | | | | | |
| 4.1 | O setor possui registro fotográfico com o respectivo padrão de organização? | | | | | |
| 4.2 | O padrão de trabalho está sendo seguido ? | | | | | |
| 4.3 | Está ocorrendo fluxo contínuo entre enchimento e supermercado do torno ? | | | | | |
| 4.4 | Está ocorrendo fluxo contínuo entre usinagem e produtos acabados ? | | | | | |
| 4.5 | A programação está sendo feita de maneira correta ? | | | | | |
| 5 | Senso de Autodisciplina e Melhoria Contínua | | | | | |
| 5.1 | As informações de desempenho estão sendo levantadas? | | | | | |
| 5.2 | A seção apresentou alguma nova melhoria? (0,5 para cada melhoria) | | | | | |
| TOTAL DOS PONTOS OBTIDOS | | | | | | |

Data: _____
Setor: Mancais _____
Responsável: _____




Figura 91 Check-list de acompanhamento das mudanças realizadas

O objetivo desse *check-list* foi fazer com que critérios como limpeza, organização, padronização de atividades tornem-se em rotinas diárias. Por isso, no início o *check-list* foi aplicado semanalmente. A partir do momento que as novas atividades de trabalho se tornarem em rotinas o *check-list* passará a ser aplicado mensalmente.

(51) Definir as medidas de desempenho.

As medidas de desempenho foram formuladas levando-se em consideração o desempenho da família em termos de organização e produção. A tabela 21 apresenta um modelo macro de levantamento das medidas.

Tabela 21 Medidas de desempenho

| Métricas | Significado/Propósito | Ponto/Procedimento de Coleta | Expressão de Cálculo | Frequência de Apontamento |
|--|---|---|--|---------------------------|
| Aderência à programação | Medir o índice de aderência do setor em relação ao plano mestre de produção | Apontar a quantidade de tarjas magnéticas verdes por setor no quadro macro | Número de tarjas verdes/quantidade de Os's no mês | Mensal |
| Aderência ao ritmo de produção | Medir o ritmo de trabalho do setor em relação ao <i>takt time</i> | Levantara quantidade de kit's produzidos no final de cada dia | Quantidade de dias em que o kit programado foi entregue/quantidade de dias na semana | Diário |
| Médias de dias de atraso | Medir a média de atraso por setor | Apontar em formulário os dias de atraso por setor | Somatória dos dias de atraso (OS encerradas)/quantidade de OS atrasadas (Os encerradas) no mês | Mensal |
| Frequência das causas de não formação dos kits | Medir a incidência de cada causa de não formação dos kits | Apontar em formulário o código e a descrição da causa sempre que for detectado uma não possibilidade de formação de kit | Quantidade de ocorrências por causador | Semanal |
| Pontuação no 5S | Medir o desempenho no 5S de cada setor | Auditorias via <i>check list</i> | Pontuação máxima - decontos por não conformidades | Semanal |

(52) Medir os resultados

A tabela 21 apresentada anteriormente mostra a redução de movimentação alcançada. Para cada *loop* foi definido um conjunto de métricas, similares à tabela 21, as quais servem para mostrar o desempenho do setor após as mudanças realizadas. A figura 92 apresenta o desempenho da família de mancais, buchas e anéis após as mudanças realizadas em relação ao nível de estoques de mancais acabados. Deve-se apenas ressaltar que os resultados obtidos não são apenas devido a alterações de *layout* mas ao conjunto de ações realizadas, incluindo, o re-projeto do *layout*.

Os resultados diretos da mudança de *layout* foram: a redução de movimentação, a eliminação do uso excessivo de pontes rolantes e trolers, a melhor organização das áreas com melhor definição de pontos de pulmão de peças e supermercados, a possibilidade de se gerir a área utilizando os conceitos de gestão visual.

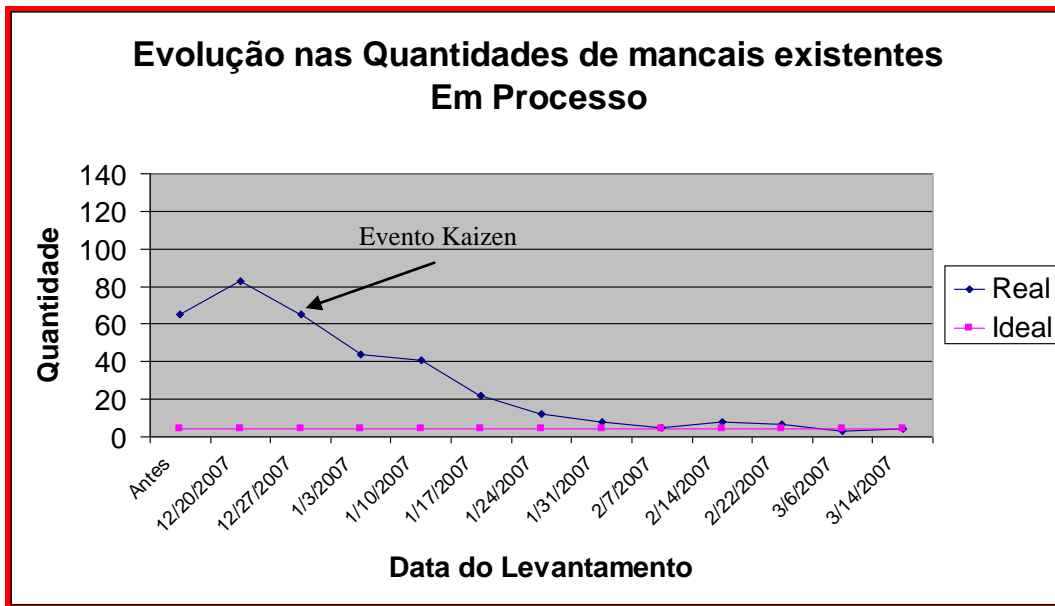


Figura 92 Evolução dos estoques de mancais

9.5 Análise Geral

Os resultados alcançados demonstram que o modelo direcionou a um projeto de *layout* satisfatório. Existiram ganhos de redução de movimentação, organização do fluxo, melhoria da gestão visual, entre outros.

Capítulo 9

9. Conclusão

No início desse projeto foram colocados como objetivos da pesquisa os seguintes pontos:

- Objetivo: desenvolver um modelo para projeto, planejamento e implantação de *layout* com base nos conceitos da Produção Enxuta.
- Objetivos específicos:
 - Desenvolver um modelo de projeto de *layout* em ambientes de alta variedade de peças/produtos, que contemple os princípios da Produção Enxuta.
 - Levantar quais são os benefícios, quantitativos e qualitativos, que a mudança de *layout* pode trazer para a empresa que adota o Sistema de Produção Enxuta.
 - Levantar se existe outras formas de *layout*, diferentes das células de produção, que podem ser utilizadas na implantação do Sistema de Produção Enxuta.
 - Levantar quais as características dos mais diversos *layouts* que estão em consonância com os princípios da Produção Enxuta.
 - Levantar se as características de produtos, componentes ou processos induzem a tipos específicos de *layouts*.
 - Identificar as principais dificuldades em se alterar o *layout* com a fábrica em funcionamento.

Com relação ao objetivo principal da pesquisa foi gerado um modelo para a concepção do *layout* e também desenvolvido uma metodologia de implantação. O modelo foi validado

através da sua aplicação em três empresas do Estado de São Paulo. As empresas tinham como características uma alta variedade de peças. Neste trabalho são apresentadas apenas duas aplicações do modelo. No caso específico de uma das empresas os produtos tinham a característica de ser fabricados *make-to-order*.

Portanto, pode-se considerar que o objetivo macro da pesquisa foi concluído com a formulação e aplicação do método nas empresas descritas. Quanto aos objetivos específicos, tem-se:

(a) Desenvolver um modelo de projeto de *layout* em ambientes de alta variedade de peças/produtos, que contemple os princípios da Produção Enxuta.

Como mencionado o modelo foi desenvolvido e testado em duas empresas, como apresentado nos estudos de casos. Os resultados mostram a validade do modelo.

(b) Levantar quais são os benefícios, quantitativos e qualitativos, que a mudança de *layout* pode trazer para a empresa que adota o Sistema de Produção Enxuta.

Os benefícios quantitativos e qualitativos que a mudança de *layout* pode trazer para a empresa estão relacionados com os fatores que o *layout* influencia fatores esses apresentados na tabela 3.

Os benefícios quantitativos são a redução de estoques, o aumento da flexibilidade de *mix* e de volume, a redução da movimentação de peças/produtos, operadores e ferramental e a melhoria da qualidade dos produtos fabricados.

Quanto aos benefícios qualitativos, de difícil mensuração, mas que influenciam no desempenho da produção pode-se destacar a contribuição para a implantação do conceito de mão-de-obra multifuncional, a melhoria da gestão visual e a redução da complexidade da programação da produção.

Como mencionado, muitos ainda vêm no *layout* apenas a redução de movimentação como a única contribuição para a fábrica. Mas, todos os fatores destacados são importantes variáveis que o *layout* influencia e que tem impacto direta ou indiretamente no desempenho da produção.

(c) Levantar se existem outras formas de *layout*, diferentes das células de produção, que podem ser utilizadas na implantação do Sistema de Produção Enxuta.

Como apresentado no trabalho o *layout* celular é o que mais se adequa aos princípios da Produção Enxuta. Mas, existe uma série de restrições que impedem que esse modelo de *layout* possa ser implantado em todas as empresas. Ele se adequa para a produção de famílias

bem comportadas, apresentando as mesmas seqüências de produção e com itens repetitivos, com a demanda consolidada em família representando alto volume.

Entre os modelos de *layout* analisados o *layout* por produto, o *layout* modular e o *layout* de mini-fábricas são dois conceitos que apresentam um bom desempenho quando analisados sob a ótica da Produção Enxuta. O *layout* flexível também possui muitos aspectos em consonância com a Produção Enxuta, mas este ainda encontra um campo de aplicação muito limitado.

Em resumo, o *layout* por produto, modular, mini-fábrica e flexível são os modelos de *layout*, após as células de produção, que mais se adéquam aos conceitos da Produção Enxuta e que podem ser utilizados. Deve-se apenas fazer uma ressalva de que nem sempre esses modelos podem ser aplicados devido a características particulares de cada empresa. Portanto, como mencionado no trabalho, recomenda-se que se utilizem os conceitos de *layout* na seguinte ordem de prioridade:

- a. Primeiro: *layout* celular / *layout* reconfigurável.
- b. Segundo: *layout* por produto.
- c. Terceiro: *layout* modular/mini-fábrica.
- d. Quarto: *Layout* posicional.
- e. Sexto: *layout* fractal.
- f. Oitavo: *layout* distribuído.
- g. Sétimo: *layout* funcional.

(d) Levantar quais as características dos mais diversos *layouts* que estão em consonância com os princípios da Produção Enxuta.

Para análise dos modelos de *layouts* em relação à Produção Enxuta foram definidos os seguintes critérios: fluxo contínuo, estoques, gestão visual, qualidade, flexibilidade de *mix* e de volume, mão-de-obra multifuncional, complexidade de programação da produção e movimentação. O desempenho dos conceitos de *layout* em relação a esses critérios está apresentado na tabela 3.

(e) Levantar se as características de produtos, componentes ou processos induzem a tipos específicos de *layouts*.

Com base nas aplicações do modelo desenvolvido as características do produto, componente ou processo influenciam no modelo de *layout* a ser implantado, mas não induz a qual modelo de *layout* deve se utilizar. Devido a aspectos particulares de cada empresa não há como generalizar previamente qual tipo de *layout* utilizar.

Por exemplo, as empresas 1 e 3 dos estudos de casos apresentados são empresas que produzem para um mesmo cliente, tem características de processo e produto muito semelhantes mas, da aplicação do modelo de projeto de *layout*, resultou na utilização de modelos de *layouts* diferentes.

Portanto, embora as características de produto e processo influenciem na definição do *layout* não há como especificar sem uma análise prévia qual tipo de conceito de *layout* utilizar.

(f) Identificar as principais dificuldades em se alterar o *layout* com a fábrica em funcionamento.

A maior dificuldade na alteração do arranjo físico com a fábrica em funcionamento consiste em não deixar faltar produtos ao cliente durante a mudança. Para isso, pulmões de peças devem ser dimensionados e fabricados. Um problema que surge, muitas vezes, é como formar os pulmões, pois a fábrica pode estar utilizando o máximo da sua capacidade produtiva. Alternativas para a formação de pulmões pode ser a terceirização de peças, a utilização de horas extras em finais de semana, a contratação de operadores temporários, entre outras ações.

Com relação às questões de pesquisas identificadas no início do projeto tem-se:

1. Como projetar um *layout* em ambientes de alta variedade de peças e produtos, considerando os princípios da produção enxuta?

O modelo construído define os passos para a construção de um *layout*, adequado aos princípios de produção enxuta, em ambientes de alta variedade de peças.

2. Quais as principais dificuldades em se alterar um *layout* com a fábrica em funcionamento?

A principal dificuldade encontrada foi programar e realizar as mudanças de *layout* sem ocasionar interrupção no fluxo de abastecimento de peças/produtos aos clientes (internos/externos).

3. Quais os benefícios, quantitativos e qualitativos, que a mudança de *layout* pode trazer para uma empresa que está implantando o Sistema de Produção Enxuta?

Entre os benefícios quantitativos e qualitativos advindos de uma mudança de *layout* pode-se destacar: melhoria do ambiente de trabalho; preparação da área para inserir a metodologia de gestão visual; redução de movimentação; aumento da produtividade, entre outros.

4. Quais as características associadas aos tipos de *layout* que estão em conformidade com os princípios da Produção Enxuta?

As características dos diferentes tipos de *layout* que estão em conformidade ou não conformidade com os princípios da produção enxuta foram apresentadas na tabela 3.

5. As células de manufatura são o único *layout* que deve ser utilizado na implantação do Sistema de Produção Enxuta ou outras formas de *layout* podem ser usadas?

O *layout* celular não é o único modelo de *layout* que pode ser utilizado na implantação de um sistema de produção enxuta. O que se deve destacar é que as células de manufatura são as que mais se adequam às necessidades da produção enxuta. Mas nem sempre será possível utilizar esse modelo de *layout*, como apresentado nos estudos de casos.

6. Dentro da Filosofia de Produção Enxuta existem características de processo que induzem a tipos específicos de *layout*?

O que se pode observar durante o trabalho é que as características do processo em análise influenciam no modelo de *layout* a ser utilizado, mas não necessariamente, induzem a um modelo específico de *layout*.

A seguir, será apresentada uma análise geral dos resultados alcançados nas empresas onde foi aplicado o modelo desenvolvido.

9.1 Resultados alcançados.

Além dos dois estudos de casos apresentados, o modelo de projeto de *layout* descrito foi aplicado em uma terceira empresa. A redução de movimentação, melhoria da gestão visual, entre outros aspectos são medidas que demonstram a validade do modelo construído. A tabela 22 apresentada a seguir mostra um resumo dos resultados alcançados nas empresas.

Tabela 22 resultados alcançados nas empresas

| Empresa | Resultados Alcançados |
|---------------------------------------|--|
| Estudo de Caso 1 | Redução de movimentação em 50% |
| | Viabilização para a introdução da gestão visual |
| | Organização e melhoria dos setores de trabalho |
| | Redução de <i>lead time</i> de fabricação em 70% |
| | Redução da quantidade de equipamentos utilizados (estações de solda) em 40% |
| | Redução da área produtiva utilizada em 40% |
| | Redução do índice de ausências dos funcionários em 90% |
| | Aumento de produtividade em 50% |
| Estudo de Caso 2 | Redução do estoque em processo em 50% |
| | Redução do índice de falta de peças |
| | Redução de movimentação em 40% |
| | Viabilização para a introdução da gestão visual |
| | Organização e melhoria dos setores de trabalho |
| | Redução de <i>lead time</i> de fabricação em 73% |
| | Redução do índice de falta de peças (Setor de mancais chegou a 0%) |
| | Otimização da área produtiva utilizada permitindo a inserção de novos equipamentos |
| Outra Aplicação do Modelo | Aumento de produtividade em 30% |
| | Redução do estoque em processo em 40% |
| | Redução de movimentação em 50% |
| | Viabilização para a introdução da gestão visual |
| | Organização e melhoria dos setores de trabalho |
| | Redução de <i>lead time</i> de fabricação em 45% |
| | Redução da quantidade de equipamentos utilizados (estações de solda) em 15% |
| | Otimização da área produtiva utilizada permitindo a inserção de novos equipamentos |
| Aumento de produtividade em 40% | |
| Redução do estoque em processo em 50% | |
| Redução do índice de falta de peças | |

Analisando os resultados alcançados pode-se observar que existiu uma redução de movimentação em todas as empresas. Essa redução de movimentação de pessoas, materiais e ferramental deve-se exclusivamente à reestruturação de *layout* realizada.

Outro resultado obtido nas empresas foi a redução do *lead time* de fabricação. Embora o *lead time* não seja um fator que dependa unicamente do *layout*, com a aproximação dos equipamentos produtivos houve uma maior agilização da produção, além de permitir que os lotes de produção pudessem ser reduzidos, causando um impacto no *lead time* final de fabricação. A implantação de fluxo contínuo em alguns pontos de algumas fábricas impactou diretamente na redução do *lead time*.

O aumento da produtividade também ocorreu em todas as empresas. Mais uma vez, o *layout* foi uma das variáveis que impactaram na melhoria do índice de produtividade das empresas. A redução da movimentação dos operadores, implantação de fluxo contínuo, viabilização da introdução do conceito de gestão visual, são alguns dos fatores que o *layout* influenciou e refletiu nos índices de produtividades das empresas.

A redução do estoque também foi reflexo da mudança de *layout*. A implantação de fluxo contínuo eliminou em muitos pontos o estoque em processo e a delimitação dos supermercados limitou o estoque máximo em muitos pontos da produção.

Existem algumas variáveis que não podem ser mensuradas mas que influenciaram no desempenho da produção das empresas em análise. A gestão visual foi uma das variáveis não mensuráveis que auxiliaram na melhoria do desempenho da empresa. A aproximação dos setores de produção, a inserção de fluxos unidirecionais, são fatores da melhoria do *layout* e que impactam na gestão visual da fábrica. Pode-se afirmar que as mudanças realizadas no *layout* foram a base para a inserção de um sistema de gestão visual em todas as empresas.

A organização do fluxo de produção através, por exemplo, da implantação de células de fabricação também reduziram o nível de complexidade da programação da produção.

Outro importante fator a se destacar é a otimização do uso das áreas produtivas. Em todas as empresas, com a aplicação do modelo de projeto do *layout*, ocorreu uma liberação de espaço. Essas áreas foram utilizadas para a alocação de novos equipamentos. Essa liberação de área permitiu que em uma das empresas não fosse necessária a construção de novos barracões para atender à produção.

9.2 Dificuldades na aplicação do modelo

Muito embora o modelo desenvolvido seja bastante lógico existem alguns pontos de maior dificuldade na sua aplicação. Primeiramente, quando não é possível utilizar o conceito de *layout* celular existe uma dificuldade em se determinar qual o conceito de *layout* utilizar. Neste caso, torna-se importante a presença de pessoas na equipe que tenham uma visão bastante ampla dos demais conceitos de *layout*.

Outra dificuldade encontrada foram os “monumentos” que impossibilitaram em alguns casos o desenvolvimento de um *layout* melhor. A aplicação do modelo mostrou que é importante que as pessoas envolvidas no projeto do *layout* minimizem ao máximo os “monumentos” na fábrica. Quanto maior o número de “monumentos” maiores são as

restrições ao *layout* e, provavelmente, maiores serão as limitações das propostas de *layouts* formuladas.

Um outro ponto a se destacar, embora normalmente exista uma resistência à mudança de máquinas devido ao “transtorno” que isso causa à produção, nos estudos de casos desenvolvidos devido ao aumento da demanda e à necessidade da empresa em aumentar sua produtividade não foram impostas barreiras às alterações de *layout*. Portanto, é importante que as pessoas envolvidas no projeto e na mudança do arranjo físico estejam conscientes e motivadas pela necessidade da fábrica em melhorar seu desempenho.

Uma dificuldade na aplicação do modelo ocorreu na empresa de turbinas em virtude da complexidade do produto. Devido ao fato das famílias de produtos definidas possuírem muitos componentes o *layout* foi projetado em função dos fluxos principais. Portanto, pode-se perceber que quanto mais complexo o produto em termos de variedade de componentes, provavelmente, mais difícil será especificar em função de quais componentes/produtos será projetado o *layout*.

Uma outra dificuldade encontrada foi a adequação dos funcionários em relação às mudanças implantadas. Em todos os projetos foi necessário um período em torno de um mês para que as pessoas se adequassem às mudanças efetuadas.

Outra dificuldade foi a aquisição de equipamentos por parte da direção de algumas empresas sem uma análise anterior da real capacidade de produção da fábrica. Em duas das empresas onde foram desenvolvidos os estudos de casos equipamentos foram comprados sem uma prévia análise da atual capacidade de produção da empresa e da futura capacidade de produção com as mudanças que estavam sendo projetadas. Com isso, algumas alternativas de *layout*, com excelente desempenho perante as medidas de desempenho utilizadas, foram descartadas devido ao fato de não contemplarem equipamentos que tinham sua necessidade questionável.

9.3 Análise crítica do modelo

A aplicação do modelo e os resultados alcançados demonstraram que esse possui aspectos positivos e algumas restrições que devem ser avaliadas. Em primeiro lugar serão descritas a seguir as contribuições e pontos positivos do modelo construído. Posteriormente, serão comentadas as limitações do modelo.

9.3.1 Contribuições e aspectos positivos do modelo.

O trabalho desenvolvido contribui para a pesquisa em torno do tema *layout* devido a alguns fatores. Primeiramente, neste trabalho são apresentados aspectos quantitativos e qualitativos para análise do *layout*. Normalmente, esses são aspectos que não são considerados no projeto do arranjo físico.

Em segundo lugar, o modelo de projeto de *layout* desenvolvido não se restringe ao uso apenas de ferramentas tradicionais de projeto de *layout*. O modelo integra, por exemplo, o mapa do fluxo de valor, uma importante ferramenta de análise e projeto da Produção Enxuta.

Outra contribuição do modelo é a sua validação através de aplicações práticas em empresas. O modelo não ficou restrito ao campo teórico, mas foi submetido a três aplicações práticas. Além disso, o *layout* projetado para cada empresa encontra-se implantado e em uso.

Um outro ponto importante do modelo é a sua fácil aplicabilidade. A utilização do modelo não requer o uso de uma mão-de-obra especializada como no uso de um *software* de projeto de *layout*. O modelo pode ser utilizado de forma fácil por qualquer pessoa que detenha o mínimo de conhecimento necessário ao projeto de um *layout* de fábrica.

Outro aspecto que valoriza o modelo construído é sua aplicação em ambientes de manufatura bastante complexos de alta variedade de produtos. Neste ambiente de manufatura o projeto do *layout* torna-se bastante complexo devido ao compartilhamento de equipamentos e ao grande número de fluxos que se estendem pelo chão-de-fábrica. A aplicação do modelo em empresas com características de produtos bastante distintas, produtos de pequeno, médio e grande porte, também demonstra a sua robustez.

Por último, um aspecto muito positivo do modelo consiste do fato de definir claramente quando utilizar o conceito de *layout* celular. De acordo com determinados critérios o modelo conduz o projetista do *layout* à utilização de células de forma bastante lógica e simples.

9.3.2 Limitações do modelo

Como mencionado, o modelo apenas define qual tipo de *layout* utilizar em casos onde é possível implantar células de manufatura. Devido a inúmeras variáveis que interferem no projeto do *layout* não foi possível padronizar qual conceito de arranjo físico utilizar em situações que não comportam as células de produção.

Outra restrição do modelo consiste deste não conduzir necessariamente ao arranjo físico ótimo. Este conduz a equipe de projeto a um arranjo físico que satisfaz as necessidades

da empresa, mas não necessariamente, seja o arranjo físico ótimo, por exemplo, com mínima movimentação.

9.4 Futuras pesquisas

Com base no trabalho realizado até o momento sugere-se que as futuras pesquisas abordem os seguintes aspectos:

- a. Adaptação do modelo para ambientes de manufatura diferentes do analisado.
- b. Consideração e inserção de aspectos ergonômicos no modelo de *layout* construído.
- c. Definição de uma forma de medição mais objetiva dos aspectos qualitativos.
- d. Consideração dos aspectos de melhoria contínua no modelo, ou seja, verificar os resultados obtidos quando o modelo for aplicado em uma área que já sofreu reestruturação pela aplicação anterior do modelo.
- e. Consideração dos aspectos de sustentabilidade, ou seja, considerar como o modelo pode garantir a perpetuidade das melhorias iniciais implantadas.

9.5 Considerações finais

O modelo apresentado nesta tese é fruto do conhecimento prévio do grupo de pesquisa e da aplicação prática deste em três empresas. O modelo apresenta contribuições para a pesquisa no campo do *layout*, mas também algumas restrições que podem ser eliminadas em futuras pesquisas.

O trabalho desenvolvido mostra também que o projeto do *layout* não se restringe a uma mera aproximação de equipamentos reduzindo pura e simplesmente a movimentação. Existem diversos fatores que a mudança do arranjo físico influencia e que devem ser levados em consideração durante a realização do projeto da fábrica.

BIBLIOGRAFIA

ALGARTE, W.; QUINTANILHA, D. (2000), “ A História da Qualidade e o Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade – PBQP”, Rio de Janeiro: INMETRO.

AL-MUBARAK, F., KHUMAWALA, B. M., CANEL, C. (2003), “Focused cellular manufacturing: an alternative to cellular manufacturing”, *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 23, n. 3, pp. 277-299.

ALUKAL, G. (2003), “Create a lean, mean machine”, *Revista Quality Progress*, 2003

ANDRADE, M. O. (2002), "Representação e Análise de Cadeias de Suprimentos: Uma Proposta Baseada no Mapeamento do Fluxo de Valor", Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos.

APPLE, J.M., *Plant Layout and material Handling*, 3rd ed., Wiley, 1977.

AZADIVAR, F., WANG, J. (2000), “Facility layout optimization using simulation and genetic algorithms”, *International Journal of Production Research*, Vol. 38 No. 17, pp. 4369-83

BASTO, J.A, STORER, R. H., WU, D. (2000),”Design and control issues in hybrid reconfigurable.

BERTO, R.M., NAKANO, D.N.A(2000), “Produção Científica nos Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção: Um levantamento de Métodos e Tipos de Pesquisa”, *Revista Produção*, v.9, n.2, p. 65-76.

BI, Z.M., LANGA, S.Y.T., SHENG, W., WANG, L. (2007), “Reconfigurable manufacturing systems: the state of the art”, *International Production of Research* V17 ; N. 7, pp. 967-992

BLACK, J.T. (1998), “O projeto da fábrica com futuro”, Ed. Bookman.

- BOLLINGER, J. e RUSNAK, R. (1998), "A vision for manufacturing in 2020", NSF Design and Manufacturing Grantees Conference, Monterey, Mexico.
- BRUSSEL, H. (1999), "Reconfigurable manufacturing systems", *Ann. CIRP*, 48(2), 1-1.
- BULLINGTON, K. E. (2003), "5S for suppliers", *Revista Quality Progress*.
- CANEM, A., WILLIAMSON, G. (1998), "Facility layout overview: towards competitive advantages", *Facilities*, v. 16, n.7/8, p.p. 198-223
- CANEM, A.G., WILLIAMSON, G., H. (1998), "Facility layout overview: towards competitive advantage", *Facilities Volume 16 · Number 7/8 · July/August 1998 · pp. 198-203*
- CHENG, R., GEN, M. (1996), "Genetic search for facility layout design under interflows uncertainty", *Japanese Journal of Fuzzy Theory and Systems*, Vol. 8, pp. 335-46
- CHIEN, T. (2004), "A empirical study of facility layout using a modified SLP procedure", *Journal of Manufacturing Technology Management*, v. 15, n.6, pp. 455-465.
- CHOW, W.-M. (1990), "Assembly Line Design. Methodology and Applications", Marcel Dekker.
- CIOSAKI, L. M. (1999), "Gerenciamento Visual da Produção e Trabalho em Grupos: Ferramentas do sistema Just In Time aplicados simultaneamente em uma indústria de calçados", *Dissertação de Mestrado*, São Carlos.
- COLMANETTI, M. S. (2001), "Modelagem de sistemas de manufatura orientada pelo custeio das atividades e processos", *Dissertação de mestrado apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos*, São Carlos.
- CONNER, G. (2001), "Lean manufacturing for small shop", *Society of Manufacturing Engineers. control*, London : Chapman & Hall, 1996.
- CORRÊA, H. L., CORRÊA, C. A. (2004), "Administração de produção e operações: manufatura e serviços – uma abordagem estratégica", Ed. Atlas.

- DALMAS, V. (2004), “Avaliação de um layout celular implementado: um estudo de caso em uma indústria de autopeças”, Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- DJASSEMI, M. (2006), “Improving factory layout under a mixed floor and overhead material handling condition”, *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 18 No. 3, 2007, pp. 281-291
- DRISCOLL, J., SAWYER, J.H.F. (1985) A computer model for investigating the re-layout of batch production areas. *International Journal of Production Research*, 23(4), 83±794.
- FELD, W. M. (2001), “Lean Manufacturing: Tools, Techniques and how to use them”, Ed. APICS.
- GAITHER, N.; FRAZIER, G. (2001), “Administração da Produção e Operações”, Ed. Pioneira.
- GIL, A. C. (1996), “Como elaborar projetos de pesquisa”, São Paulo, Atlas.
- GONÇALVES FILHO, E.V. (2005), “Sistemas de Manufatura: Projeto do arranjo físico”, Notas de aula.
- GUERRINI, F. M.; COLENCI Jr., A. (2003), “Projeto e operação de sistemas de produção”, São Carlos.
- HAYNES, B. P. (2008), “The impact of office layout on productivity”, *Journal of Facilities Management*, Vol. 6 No. 3, pp. 189-201
- HEILALA, F. VOHO, P. (2001), “Assembly Automation”, Vol. 21, N. 1, pp. 20-28.
- HINES, P., TAYLOR, D. (2000). “Going Lean”, Lean Enterprise Research Centre.
- HIRANO, H. (1990), “5 pillars of the visual workplace”, Productivity press.
- HU, J. S.; KOREN, Y. (2005), “Reconsider machine layout to optimize production”, *Manufacturing engineering*.

HYER, N., WEMMERLÖV, U. (2002), "Reorganizing the factory: competing through cellular manufacturing", Ed. Productivity.

IIDA, I. (2005), "Ergonomia: Projeto e Produção", São Paulo, Editora Edgard Blücher.

ISHII, K., JUENGEL, C. and EUBANKS, C.F.(1995)," Design for product variety: key to product line

KASUL, R. A.; MOTWANI, J. G. (1997), "Successful implementation of TPS in a manufacturing setting: a case study", Industrial Management & Data System.

KOREN, Y. e ULSOY, A.G. (1997), "reconfigurable Manufacturing Systems", Engineering Research Center for Reconfigurable Machining Systems (ERC/RMS), The University of Michigan, MI.

KOREN, Y.(1999), "Will industry adopt PKMs?" Manuf. Eng., 122(3), 240.

KOREN, Y., HEISEL, U., JOVEANE, F., MORIWAKI, T., PRITSCHOW, G., ULSOY, G. e VAN

KRAFCIK, J. F. (1988), "Triumph of the Lean Production System", MIT International Motor Vehicle Program.

LACKSONEN, T. and VIJAYVARGIYA, M. (1994) Project scheduling for re-layout projects, in 1994 Industrial Engineering Research Conference, Atlanta, GA, pp. 566±570

LAKATOS, E.M.; MARCONI, M.I. (1991), "Metodologia Científica", Atlas, São Paulo.

LEAN INSTITUTE BRASIL,"Léxico Lean", São Paulo (2003)

MASING, W. (2002), "Custo de qualidade, não: corte de despesas", Banas Qualidade, Junho, pag. 20 - 28.

MATIONAL RESEARCH COUNCIL (1998)," Commission on Engineering and Technical Systems, Visionary Manufaturing Challenges for 2020", National Academy Press, Washington).

MEHRABI, M.G., ULSOY, A. G (1997), "State-of-the-Art in Reconfigurable Manufacturing Systems", Engineering Research Center for reconfigurable Machining Systems, Vol.1.

- MEHRABI, M.G., ULSOY, A. G., KOREN, Y e HEYTLER, P. (2002), “Trends and perspectives in flexible and reconfigurable manufacturing systems”, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 13, 135-146.
- MELLER, R., D.,GAU, K., Y. (1996), “The facility layout problem: recent and emerging trends and perspectives”, *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 15 No. 5, pp. 351-66.
- MIGUEL, P. A. C. (2005), “Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução”, *Revista Produção*, v. 17, n.1, p. 216-229.
- MILTENBURG, J. (2001), “U-shaped production lines: a review of theory and practice”, *International Journal of productions economics*, p.p. 201 – 214.
- MUTHER, R. (1976), “Planejamento do Layout: Sistema SLP”, *Supervisão ITIRO IIDA*. Tradução Elizabeth de Moura Vieira, Jorge Aiub Hijjar e Miguel de Simoni. São Paulo, Edgard Blücher.
- MUTHER, R., “Systematic Layout Planning, 2nd. Ed., Cahnerns Books, Boston, 1973.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF CANADA (2000),” *Manufacturing Innovations: An Impact Strategy for 2000–2005*”, NRC Manufacturing Technologies Group.
- NAZARENO, R. R., SILVA, A.L., RENTES, A. F. (2003), “Mapeamento do fluxo de valor para produtos com ampla gama de peças”, *XXIII ENEGEP*, Ouro Preto.
- NEVINS, J.L. and WHITNEY, D.E. (1989), “Concurrent Design of Products and Processes”, McGraw-Hill, ISBN 0-07-046341-7.
- NYSTUEN, T. (2002), “Big results with less: NIST program helps small organizations eliminate waste”, *Revista Quality Progress*.
- OHNO, T. (1988), “Toyota production System”, Productivity Press.
- PÁDUA, E.M.M. (1997), “Metodologia da Pesquisa: Abordagem Teórico-Prática”, Papirus Editora.
- RAWABDEH I., TAHBOUB, K. (2005), “A new heuristic approach for a computer-aided facility layout”, *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 17 No. 7, pp. 962-986

- RENTES, A. F., JUNQUEIRA, R. P, MARDEGAN, R., LOPES, P. F. (2006), One-piece-flow shoe manufacturing cells with quick layout setup: an example of implementation at a Brazilian manufacturer, 3rd International Conference on Group Technology & Cellular Manufacturing (GTCM2006)
- RESENDE, M. O., SACOMANO, J. B. (2000), “Princípios dos sistemas de planejamento e controle da produção”, São Carlos
- RIBEIRO, J. F. F.; MIGUELATI, S. (2002), “Organização de um sistema de produção em células de fabricação”, Revista Gestão e Produção, v.9, n.1, p.62-77.
- ROSENBLATT, M. (1986), “The dynamic of plant layout”, Management Science, Vol. 32, pp. 76-85.
- ROTHER, M.; HARRIS, R. (2002), “Criando fluxo contínuo”, Lean Institute Brasil
- ROTHER, M.; SHOOK, J. (1998), "Learning to See - Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda", The Lean Enterprise Institute, MA, USA.
- SCARPELLI, M. (2004), “Sistemas de Produção agroalimentar: arquitetura para as funções de planejamento e controle da produção”, Tese de doutorado apresentada à Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- SHARMA, A. e MOODY, P. E. (2003), “A máquina perfeita: como vencer na naova economia produzindo com menos recursos”, Ed. Prentice hall.
- SHINGO, S. (1996), “O sistema Toyota de produção: do ponto de vista da Engenharia de Produção”, Ed. Bookman.
- SILVA, A. L., CARDOZA, E. (2005), “The benefits that the visual management can bring for the companies”, In: INTERNATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING, 18, 2005, Ouro Preto.
- SILVA, A. L.; RENTES, A. F. (2002), “tornando o layout enxuto com base no conceito de mini-fábricas num ambiente de multi-produtos: um estudo de caso”, XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção.

SIMS, R. Jr (2002), "MH problems are business problems", Industrial Engineering.

SINGH, N.; RAJAMANI, D. (1996), "Cellular manufacturing systems :design, planning and

SLACK,N; CHAMBERS, S; HARLAND, C; HARRISON, A.; JOHNSTON, R. (1999), "Administração da Produção", Ed. Atlas S.A.

STAKE, R.B., (1999), " A hierarchical classification of the reasons for dividing products into modules", Licentiate thesis, Department of Manufacturing Systems, Royal Institute of Technology, Sweden.

STANDARD C.; DAVIS, D. (1999), "Running Today's Factory", Hanser Gardner Publication, Copyright.

Structuring", Design Engineering Technical Conference, ASME, 2(DE-83), pp. 499–506.

TICHEM, M. (2000), "Position report on flexible assembly automation", Laboratory for Production Engineering and Industrial Organization Delft University of Technology.

TOMPKINS, J.A., WHITE, J.A., BOZER, Y., FRAZELLE, E.H., TANCHOCO, J.M.A., TREVINO, J. (1996), "Facilities planning", Ed. John Wiley & Sons inc.

VENKATADRI, U.; RARDIN, R. L.; MONTREUIL, B. (1997), "A design methodology for fractal layout organization", IIE Transactions, 29, pp. 911-924.

VILARINHO, P.M.M.R. (1997), "Concepção e desenvolvimento de um sistema de apoio ao projecto de implantações fabris", Tese de doutorado apresentada à Faculdade de Engenharia do Porto.

VOSS, C. A. (1987), "*Just in time Manufacture*", IFS, Springer/Verlag.

WARNECK, H.J; HUSER, M. (1995), " Lean Production. Fraunhofer-Institute for Manufacturing Engineering and Automation", Nobelstrafle, Stuttgart 80, Germany..

WITTENBERG, G. (1994), "Kaizen: the many ways of getting better", University press, Vol. 14, n. 4, pp. 12-17.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROSS, D. (1990), " A máquina que mudou o mundo", Editora Campus , quinta edição.

WOMACK, J.; JONES, D.; ROOS, D. (1996), "*Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in your Corporation*", Simon e Schuster, New York.

YIN, R. K. (2001), "Estudo de Caso: Planejamento e Método", Ed. São Paulo, Bookman, 2.ed.

APÊNDICE 1

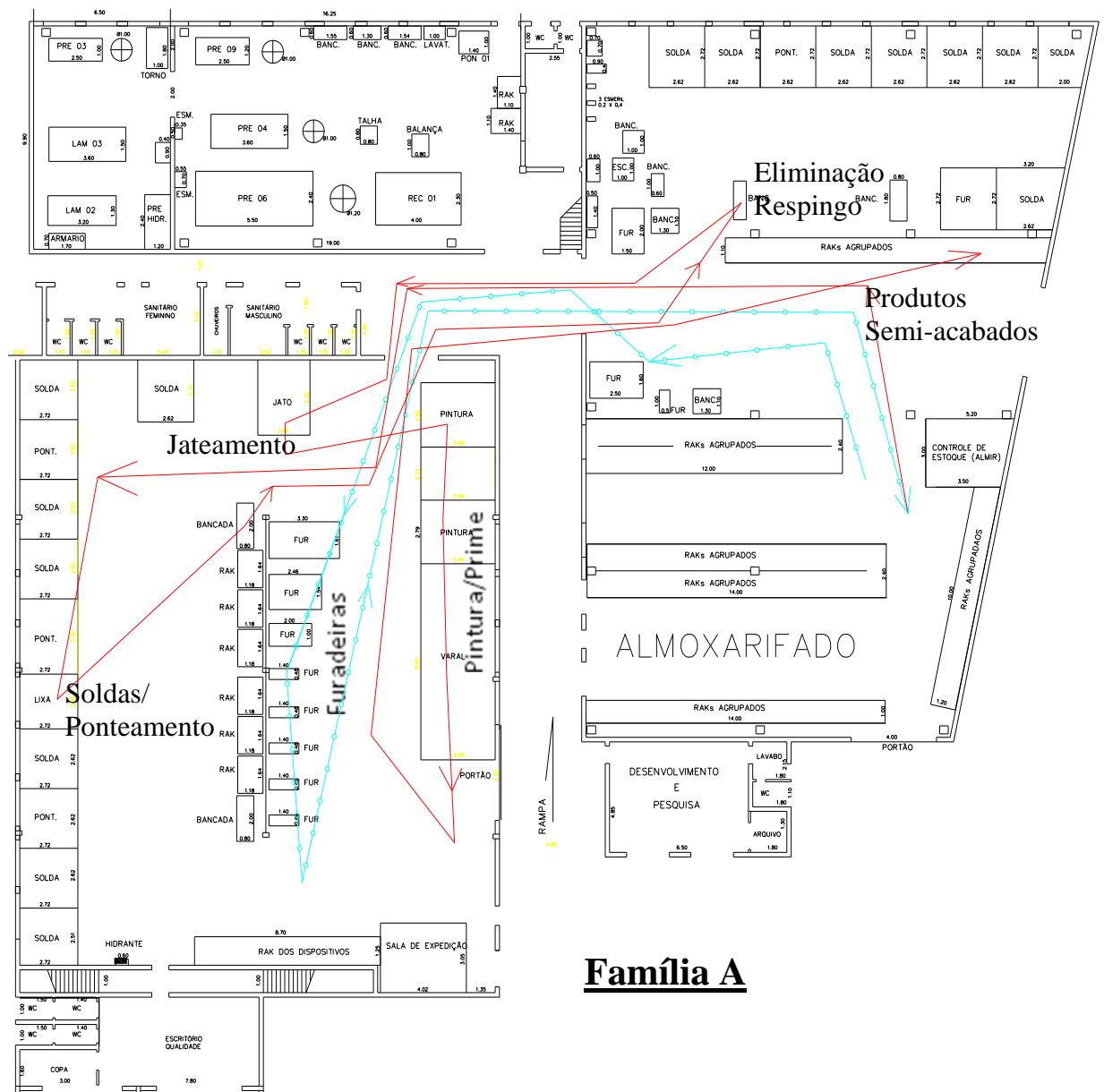


Figura 95 Diagrama de Espaguete Situação Inicial Família A (Estudo de Caso 1)

Fluxo em azul: as peças da família sofrem as primeiras operações e são armazenadas.

Fluxo em vermelho: caminho percorrido pelas peças até o processo final de pintura.

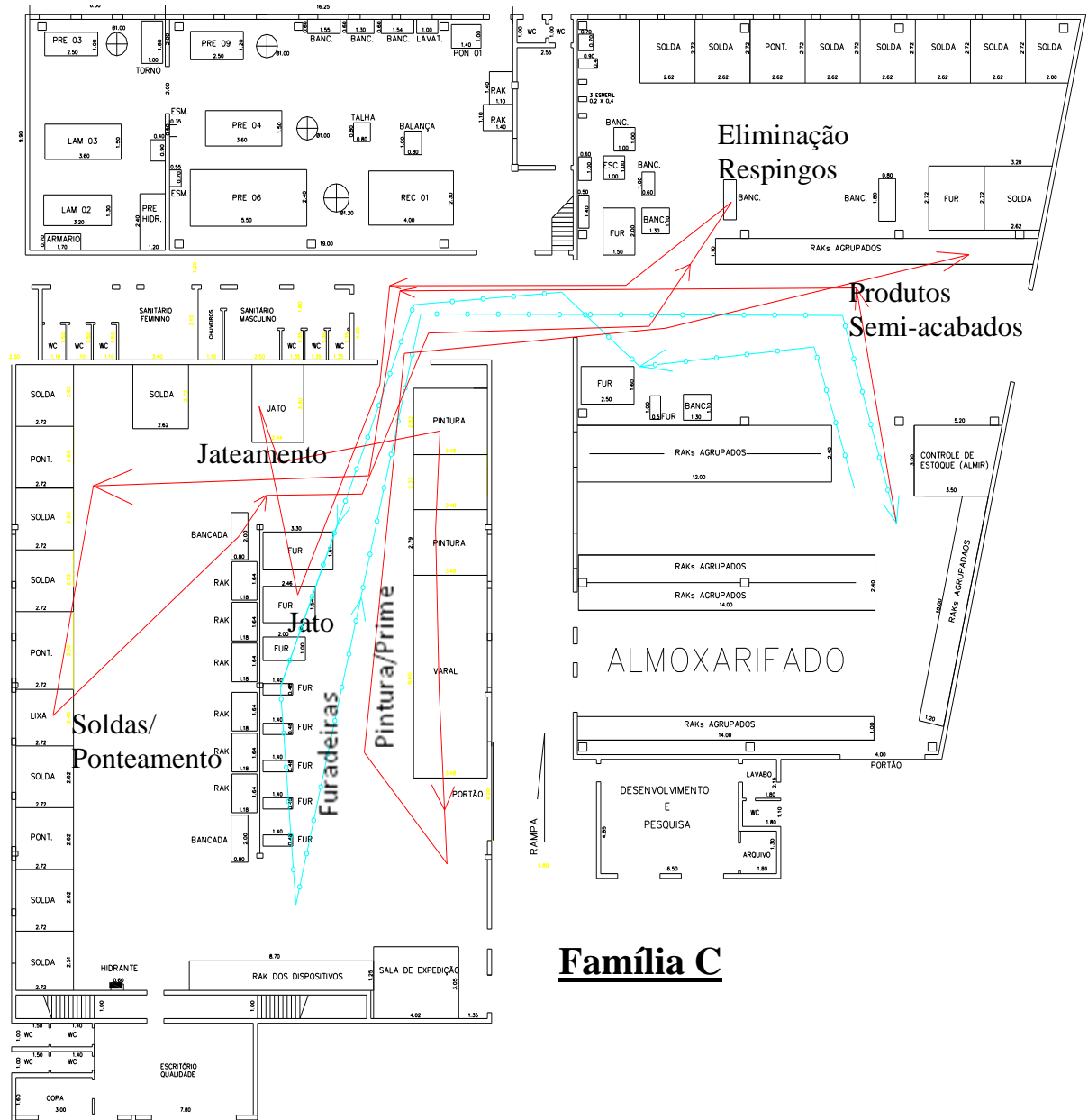


Figura 97 Diagrama de Espaguete Situação Inicial Família C (Estudo de Caso 1)

Fluxo em azul: as peças da família sofrem as primeiras operações e são armazenadas.

Fluxo em vermelho: caminho percorrido pelas peças até o processo final de pintura.

MOVIMENTAÇÃO:
3100 metros

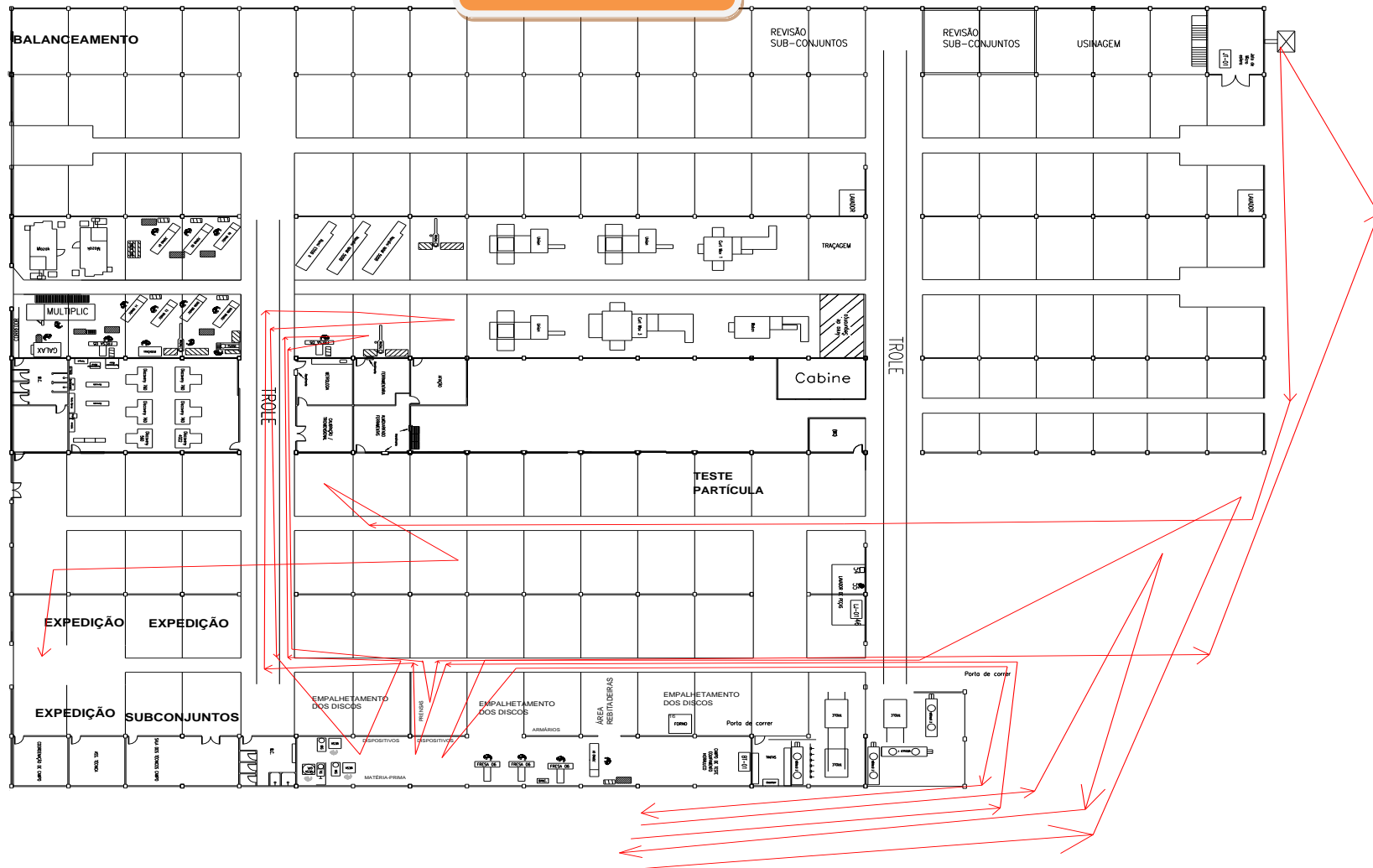


Figura 98 Diagrama de Espaguete no Layout Inicial Família Diafragma e Injetores (Estudo de Caso 2)

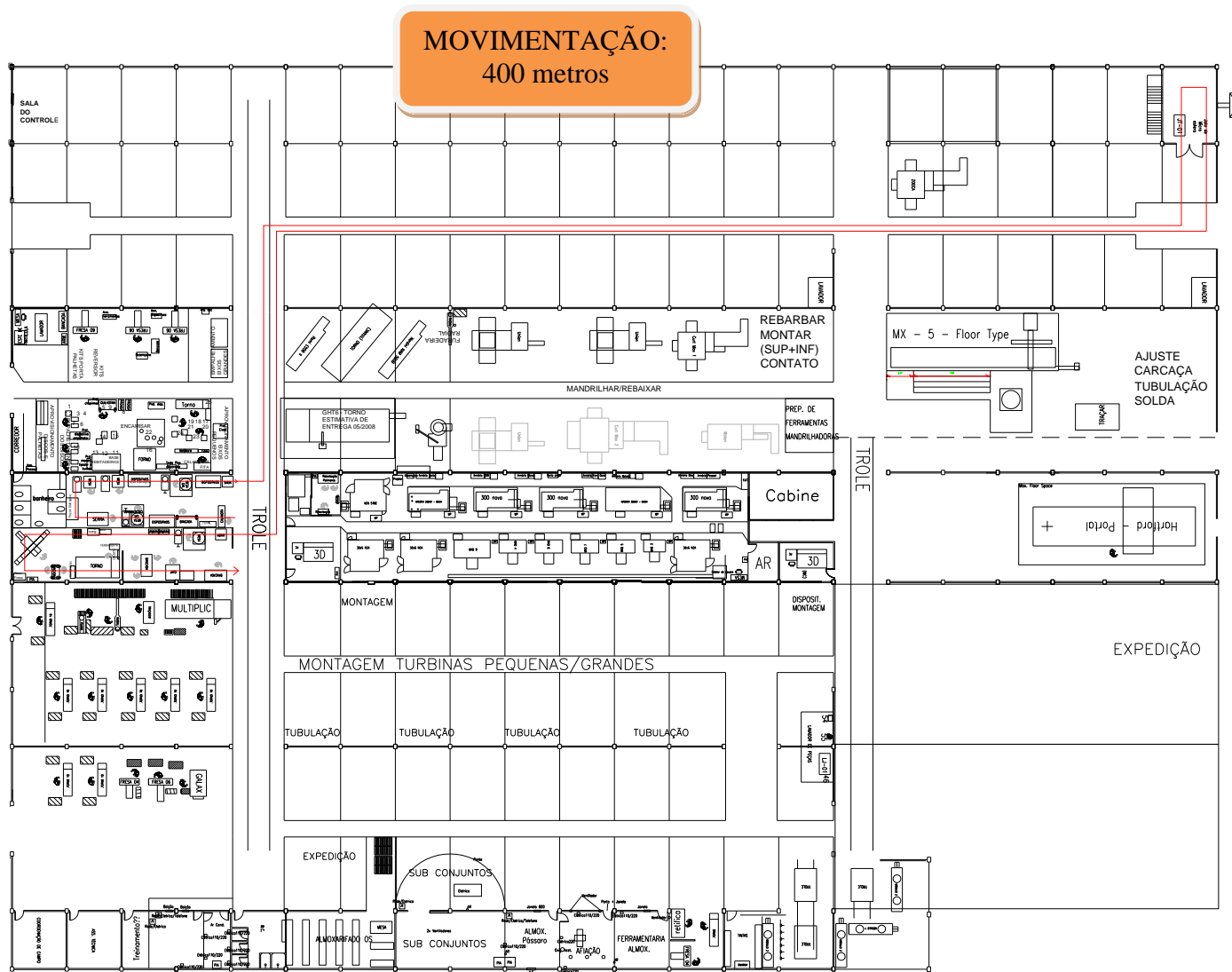


Figura 99 Diagrama de Espaguete no Layout Projetado Família Diafragma (IMPLANTADO) (Estudo de Caso 2)

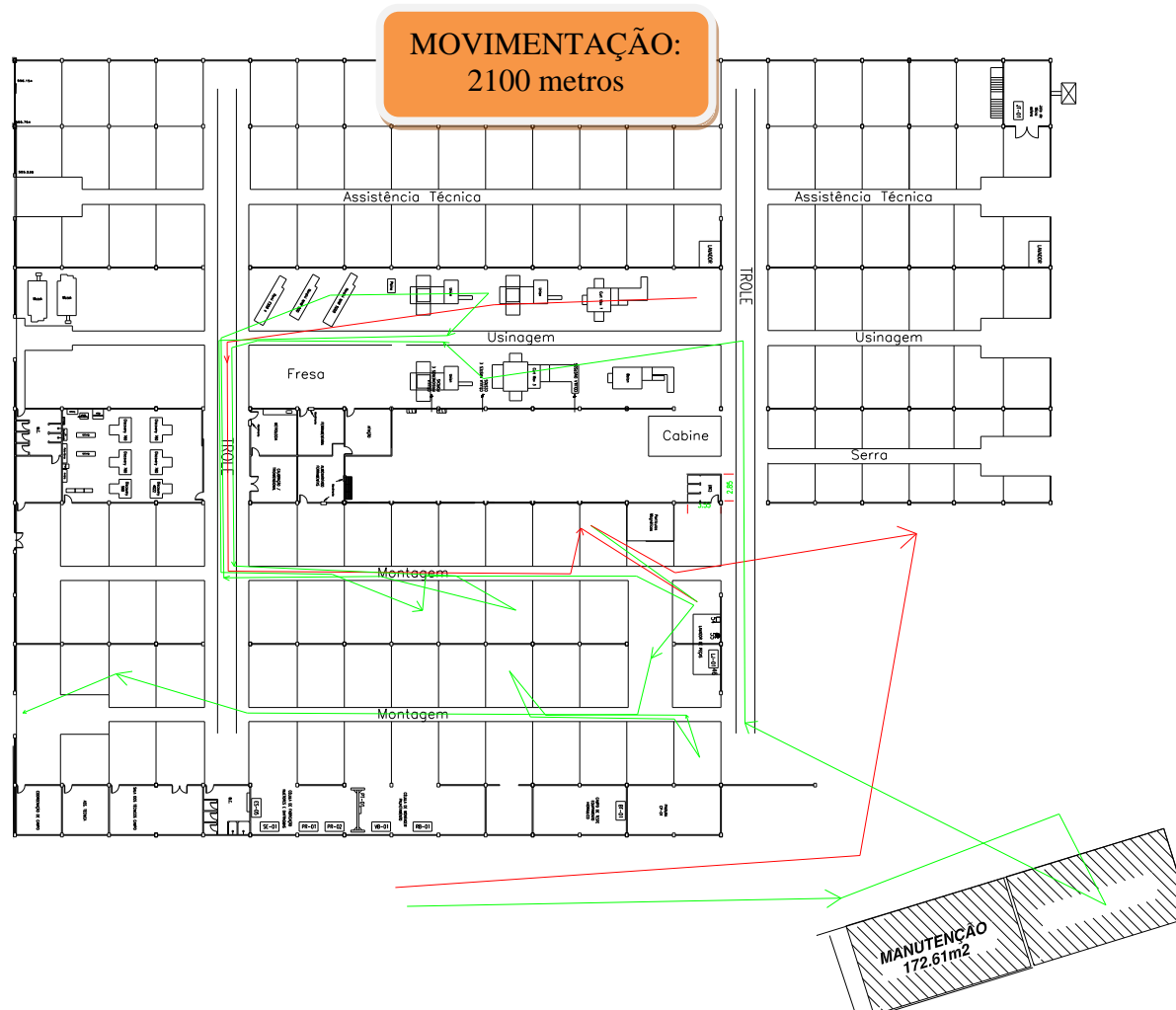
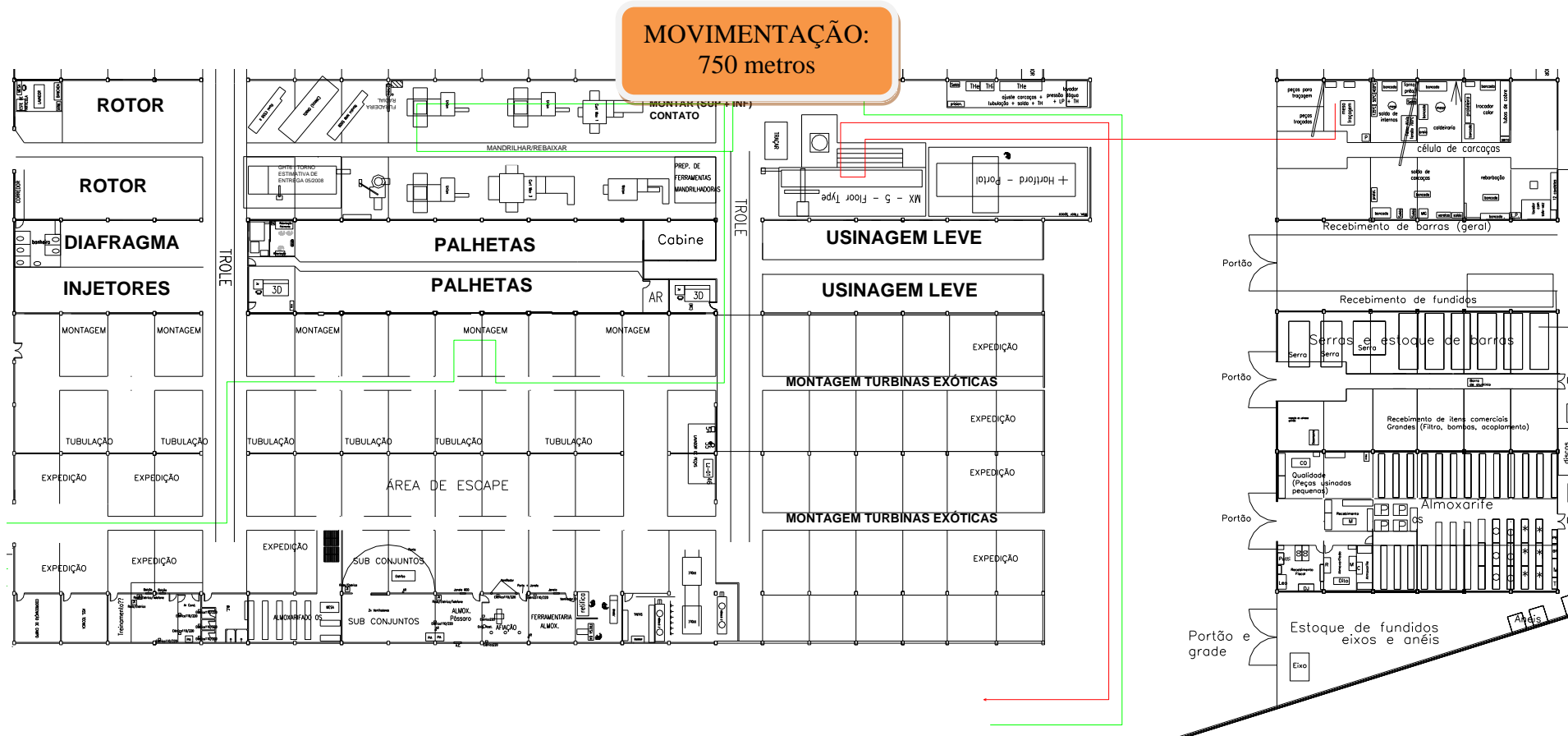


Figura 100 Diagrama de Espaguete no Layout Inicial Família Carcaças (Estudo de Caso 2)

Fluxo em vermelho: caminho percorrido pelas peças antes de serem enviadas aos terceiros.

Fluxo em verde: caminho percorrido pelas peças depois de retornar dos terceiros.



MOVIMENTAÇÃO:
2700 metros

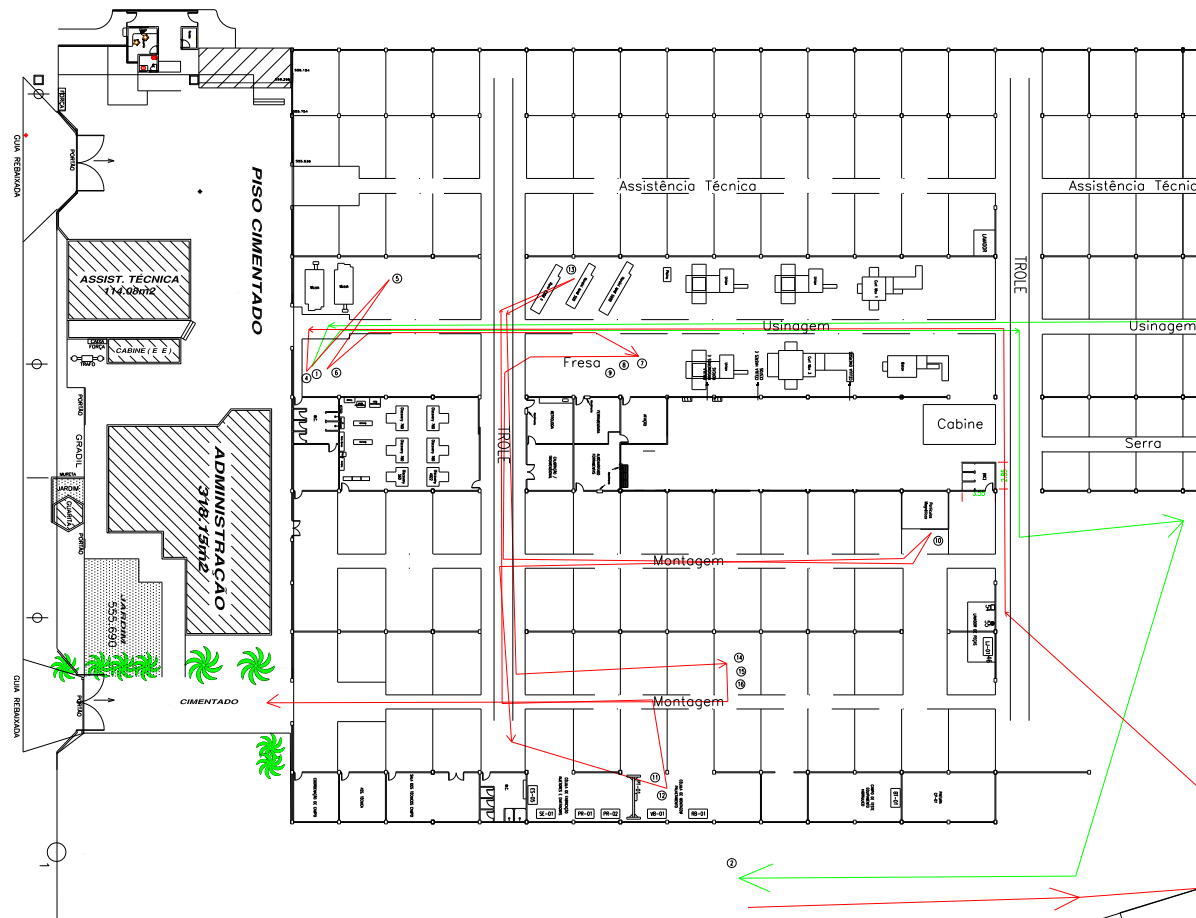


Figura 102 Diagrama de Espagete no Layout Inicial Família Eixo Simples (Estudo de Caso 2)

Fluxo em verde: caminho percorrido pelas peças antes de serem enviadas aos terceiros.

Fluxo em vermelho: caminho percorrido pelas peças depois de retornar dos terceiros.

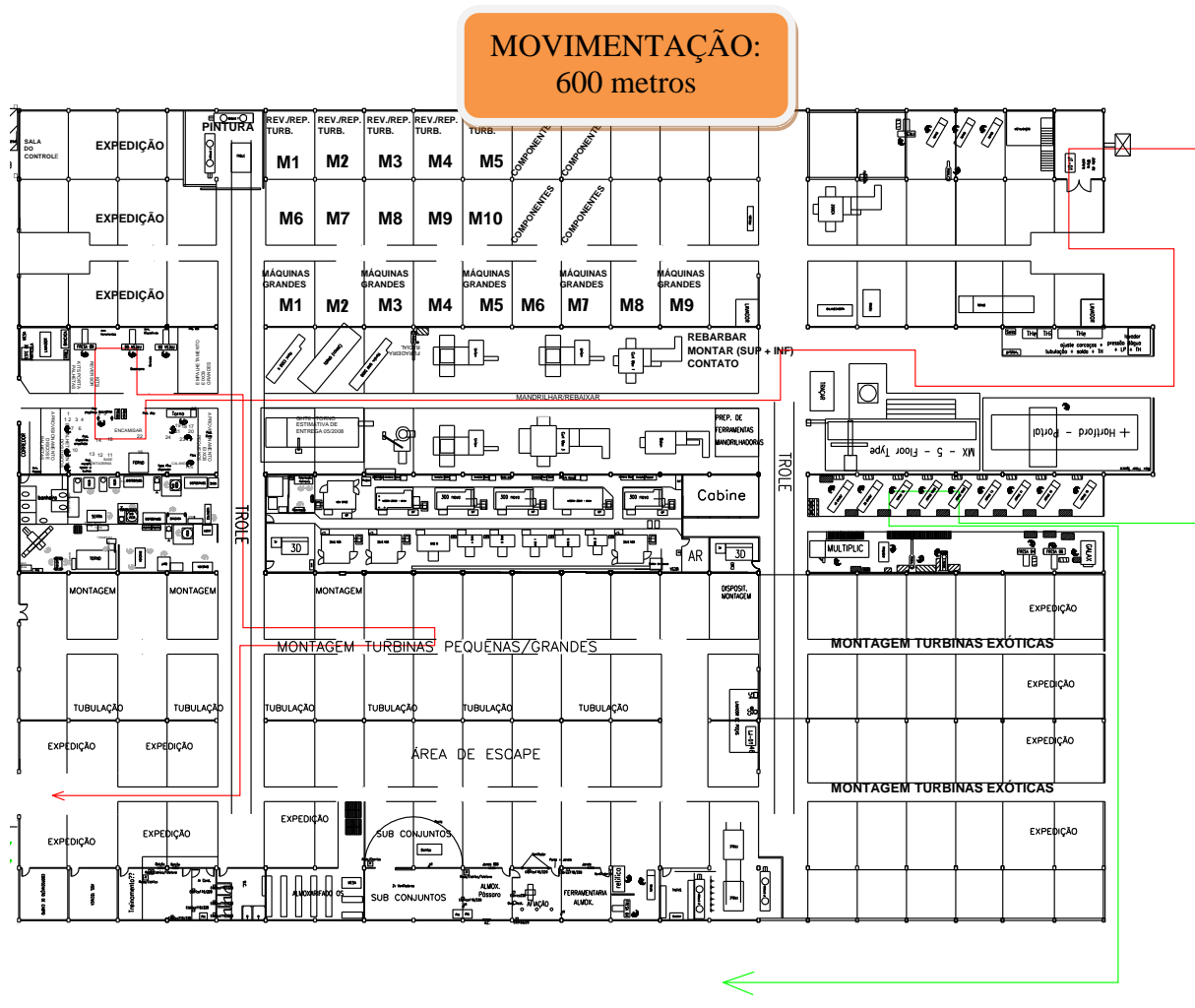


Figura 103 Diagrama de Espaguete no Layout Projetado Família Eixo Simples (IMPLANTADO) (Estudo de Caso 2)

Fluxo em verde: caminho percorrido pelas peças antes de serem enviadas aos terceiros.

Fluxo em vermelho: caminho percorrido pelas peças depois de retornar dos terceiros.

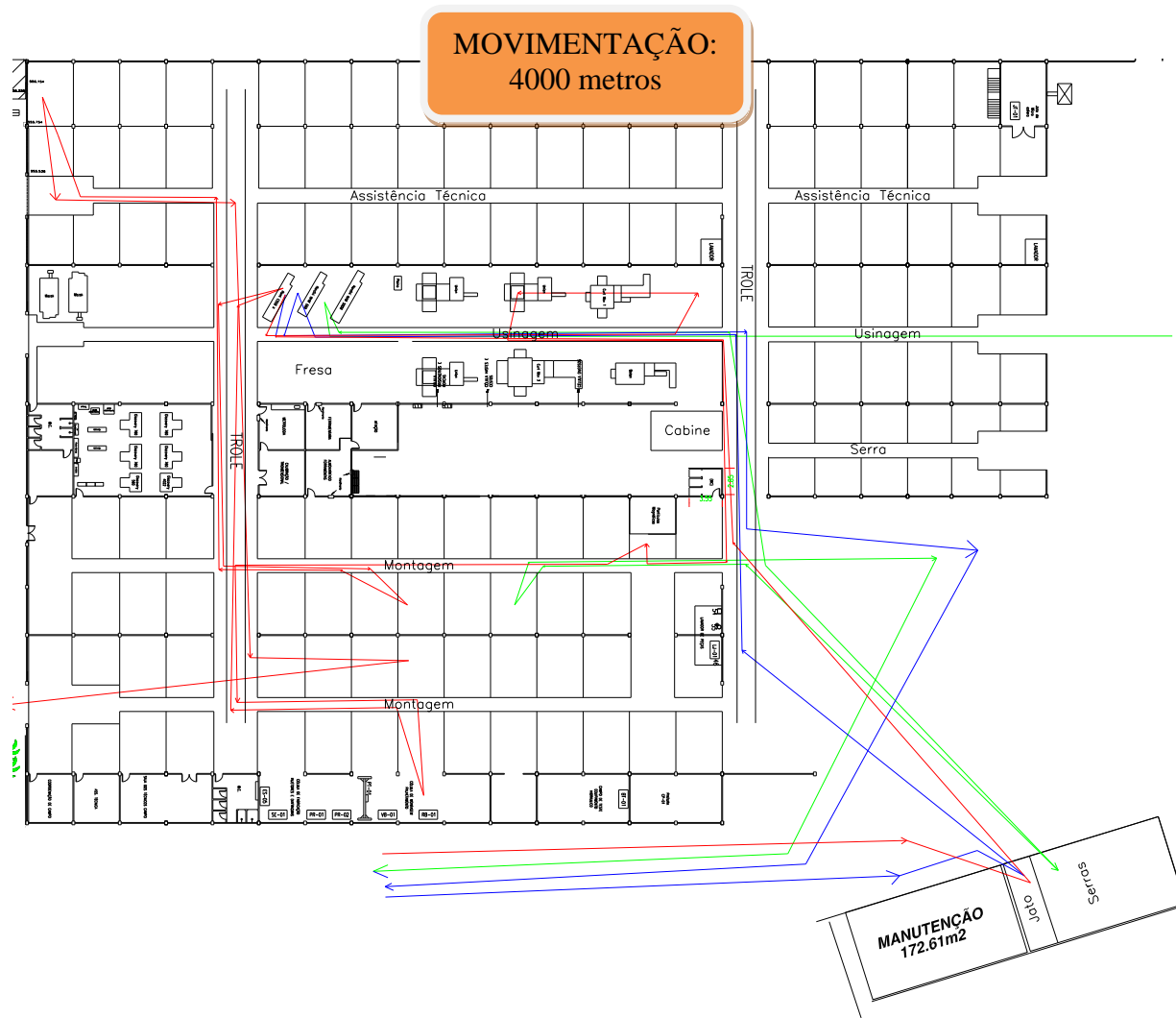


Figura 104 Diagrama de Espaguete no Layout Inicial Família Eixo Integrado (Estudo de Caso 2)

Fluxo em verde: caminho percorrido pelas peças antes de serem enviadas aos terceiros.

Fluxo em azul: caminho percorrido pelas peças depois de retornar dos terceiros (Primeira vez).

Fluxo em vermelho: caminho percorrido pelas peças depois de retornar dos terceiros (Segunda vez).

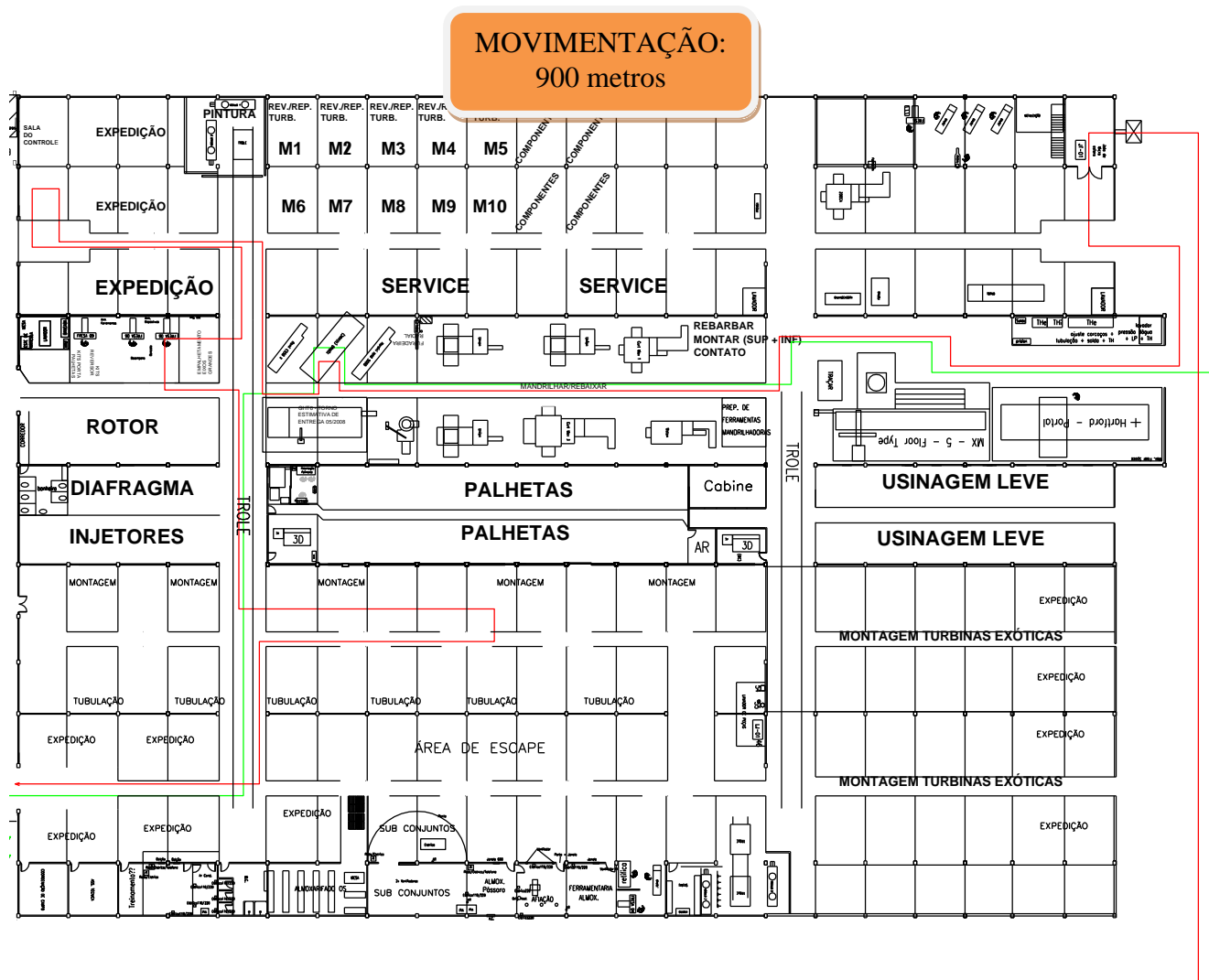


Figura 105 Diagrama de Espaguete no Layout Projetado Família Eixo Integrado (Estudo de Caso 2)

Fluxo em verde: caminho percorrido pelas peças antes de serem enviadas aos terceiros.

Fluxo em azul: caminho percorrido pelas peças depois de retornar dos terceiros.

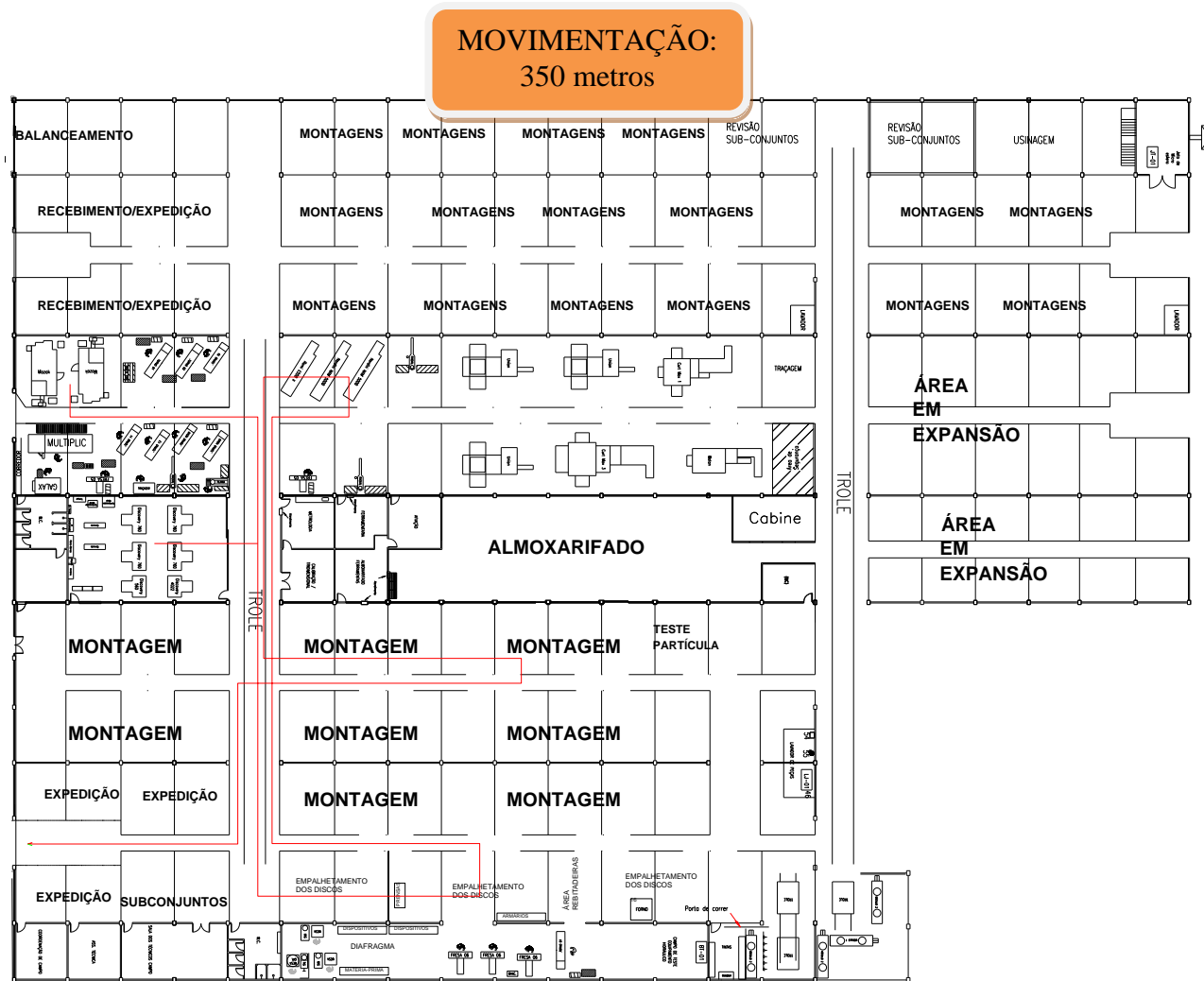


Figura 106 Diagrama de Espaguete no Layout Inicial Família Palhetas (Estudo de Caso 2)

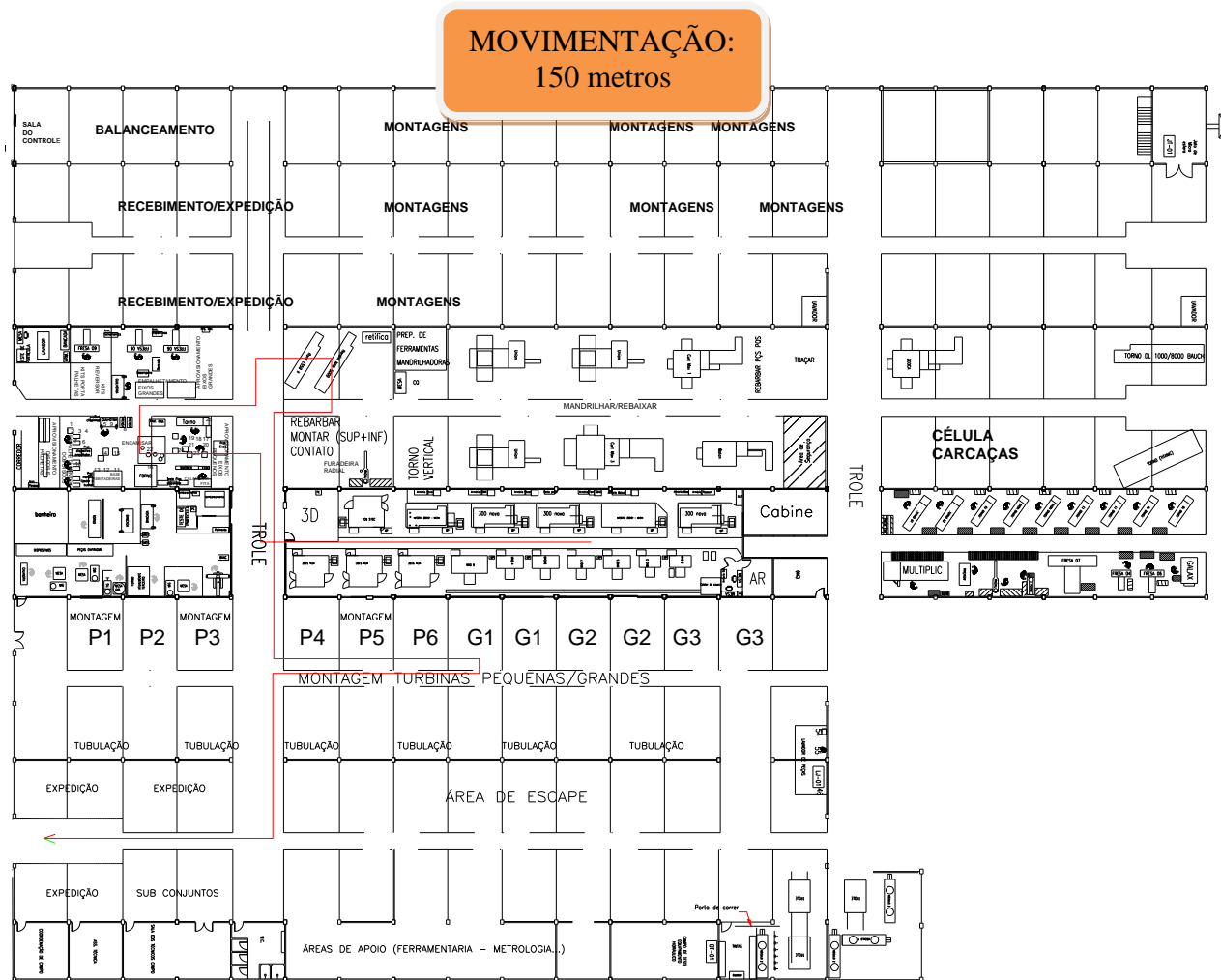


Figura 107 Diagrama de Espaguete no Layout Projetado Família Palhetas(IMPLANTADO) (Estudo de Caso 2)

Tempos processamento referentes ao Estudo de Caso 1

| SOLDA MIG | | | | | | | |
|-------------------------|-------|-------------|--------|----------------|------------------|---------------------|-----------|
| | PA | T/C's (min) | Qte/PA | Demanda mensal | T.Total Operação | T/C ponderado (min) | T/R (min) |
| C | PA126 | 4 | 2 | 150 | 1200 | | |
| C | PA126 | | 2 | 150 | 0 | | |
| | | TOTAL | | | 1200 | 4,0 | 10 |
| 0,644498 máquina | | | | | | | |
| FURADEIRA RADIAL | | | | | | | |
| | | T/C's (min) | Qte/PA | Demanda mensal | T.Total Operação | T/C ponderado (min) | T/R (min) |
| B | PA65 | 2 | 2 | 96 | 384 | | |
| C | PA126 | 8 | 2 | 150 | 2400 | | |
| D | PA146 | 1 | 1 | 144 | 144 | | |
| E | PA95 | 4 | 2 | 120 | 960 | | |
| F | PA73 | 5 | 1 | 150 | 750 | | |
| G | PA74 | 5 | 1 | 150 | 750 | | |
| | | | | | 5388 | 8,1 | 20 |
| 0,5311 máquina | | | | | | | |
| FURADEIRA COLUNA | | | | | | | |
| | | T/C's (min) | Qte/PA | Demanda mensal | T.Total Operação | T/C ponderado (min) | T/R (min) |
| A | PA64 | 2 | 2 | 144 | 576 | | |
| A | PA64 | 2 | 2 | 144 | 576 | | |
| B | PA65 | 2 | 1 | 96 | 192 | | |
| B | PA65 | 2 | 1 | 96 | 192 | | |
| B | PA65 | 2 | 2 | 96 | 384 | | |
| C | PA126 | 2 | 2 | 150 | 600 | | |
| D | PA146 | 2 | 1 | 144 | 288 | | |
| D | PA146 | 3 | 2 | 144 | 864 | | |
| D | PA146 | 2 | 1 | 144 | 288 | | |
| E | PA95 | 2 | 2 | 120 | 480 | | |
| | | | | | 4440 | 6,8 | 20 |

| FURADEIRA MULTIFUSO | | | | | | | |
|---------------------|-------|-------------|--------|----------------|------------------|---------------------|-----------|
| | | T/C's (min) | Qte/PA | Demanda mensal | T.Total Operação | T/C ponderado (min) | T/R (min) |
| A | PA64 | 2 | 2 | 144 | 576 | | |
| B | PA65 | 2 | 2 | 96 | 384 | | |
| D | PA146 | 2 | 1 | 144 | 288 | | |
| D | PA146 | 3 | 1 | 144 | 432 | | |
| D | PA146 | 3 | 1 | 144 | 432 | | |
| | | | | | 2112 | 5,5 | 90 |

0,388995 máquina

| ESCARIAR | | | | | | | |
|----------|-------|-------------|--------|----------------|------------------|---------------------|-----------|
| | | T/C's (min) | Qte/PA | Demanda mensal | T.Total Operação | T/C ponderado (min) | T/R (min) |
| A | PA64 | 1 | 2 | 144 | 288 | | |
| A | PA64 | 1 | 2 | 144 | 288 | | |
| B | PA65 | 1 | 1 | 96 | 96 | | |
| B | PA65 | 1 | 1 | 96 | 96 | | |
| B | PA65 | 1 | 2 | 96 | 192 | | |
| C | PA126 | 1 | 2 | 150 | 300 | | |
| D | PA146 | 1 | 1 | 144 | 144 | | |
| D | PA146 | 1 | 2 | 144 | 288 | | |
| D | PA146 | 1 | 1 | 144 | 144 | | |
| D | PA146 | 1 | 1 | 144 | 144 | | |
| E | PA95 | 1 | 2 | 120 | 240 | | |
| | | | | | | | |
| B | PA65 | 1 | 2 | 96 | 192 | | |
| C | PA126 | 1 | 2 | 150 | 300 | | |
| E | PA95 | 1 | 2 | 120 | 240 | | |
| F | PA73 | 1 | 1 | 150 | 150 | | |
| G | PA74 | 1 | 1 | 150 | 150 | | |
| | | | | | 3252 | 3,4 | 10 |

| MONTAR | | | | | | | |
|-----------------|-------|-------------|--------|----------------|------------------|---------------------|-----------|
| | PA | T/C's (min) | Qte/PA | Demanda mensal | T.Total Operação | T/C ponderado (min) | T/R (min) |
| A | PA64 | 2 | 1 | 144 | 288 | | |
| A | PA64 | 2 | 2 | 144 | 576 | | |
| | | | | | 864 | 6,0 | 10 |
| 0,07177 máquina | | | | | | | |
| CHANFRAR | | | | | | | |
| | PA | T/C's (min) | Qte/PA | Demanda mensal | T.Total Operação | T/C ponderado (min) | T/R (min) |
| C | PA126 | 2 | 2 | 150 | 600 | | |
| | | | | | 600 | 4,0 | 10 |
| PONTEAR | | | | | | | |
| | PA | T/C's (min) | Qte/PA | Demanda mensal | T.Total Operação | T/C ponderado (min) | T/R (min) |
| A | PA64 | 13 | 1 | 144 | 1872 | | |
| B | PA65 | 15 | 1 | 96 | 1440 | | |
| C | PA126 | 13 | 1 | 150 | 1950 | | |
| D | PA146 | 15 | 1 | 144 | 2160 | | |
| E | PA95 | 7 | 1 | 120 | 840 | | |
| F | PA73 | 3 | 1 | 150 | 450 | | |
| G | PA74 | 3 | 1 | 150 | 450 | | |
| | | | | | 9162 | 9,6 | 10 |
| 0 estações | | | | | | | |
| SOLDAR | | | | | | | |
| | PA | T/C's (min) | Qte/PA | Demanda mensal | T.Total Operação | T/C ponderado (min) | T/R (min) |
| A | PA64 | | 1 | 144 | 0 | | |
| B | PA65 | | 1 | 96 | 0 | | |
| C | PA126 | | 1 | 150 | 0 | | |
| D | PA146 | | 1 | 144 | 0 | | |
| E | PA95 | | 1 | 120 | 0 | | |
| F | PA73 | | 1 | 150 | 0 | | |
| G | PA74 | | 1 | 150 | 0 | | |
| | | | | | 0 | 0,0 | 10 |

| KIT PARA PONTEAR | | | | | | | |
|------------------|-------|-------------|--------|----------------|------------------|---------------------|-----------|
| | PA | T/C's (min) | Qte/PA | Demanda mensal | T.Total Operação | T/C ponderado (min) | T/R (min) |
| C | PA126 | | 2 | 150 | 0 | | |
| A | PA64 | | 1 | 144 | 0 | | |
| A | PA64 | | 1 | 144 | 0 | | |
| A | PA64 | | 1 | 144 | 0 | | |
| A | PA64 | | 2 | 144 | 0 | | |
| B | PA65 | | 1 | 96 | 0 | | |
| B | PA65 | | 1 | 96 | 0 | | |
| B | PA65 | | 2 | 96 | 0 | | |
| C | PA126 | | 2 | 150 | 0 | | |
| D | PA146 | | 1 | 144 | 0 | | |
| D | PA146 | | 2 | 144 | 0 | | |
| D | PA146 | | 1 | 144 | 0 | | |
| D | PA146 | | 1 | 144 | 0 | | |
| E | PA95 | | 2 | 120 | 0 | | |
| B | PA65 | | 2 | 96 | 0 | | |
| C | PA126 | | 2 | 150 | 0 | | |
| E | PA95 | | 2 | 120 | 0 | | |
| F | PA73 | | 1 | 150 | 0 | | |
| G | PA74 | | 1 | 150 | 0 | | |
| A | PA64 | | 2 | 144 | 0 | | |
| B | PA65 | | 2 | 96 | 0 | | |
| D | PA146 | | 1 | 144 | 0 | | |
| D | PA146 | | 1 | 144 | 0 | | |
| A | PA64 | | 1 | 144 | | | |
| B | PA65 | | 2 | 96 | | | |
| A | PA64 | | 2 | 144 | | | |
| C | PA126 | | 1 | 150 | | | |
| C | PA126 | | 2 | 150 | | | |
| C | PA126 | | 2 | 150 | | | |
| D | PA146 | | 1 | 144 | | | |
| E | PA95 | | 1 | 120 | | | |
| F | PA73 | | 1 | 150 | | | |
| G | PA74 | | 1 | 150 | | | |
| F | PA73 | | 2 | 150 | | | |
| G | PA74 | | 2 | 150 | | | |
| D | PA146 | | 2 | 144 | | | |
| E | PA95 | | 1 | 120 | | | |
| F | PA73 | | 1 | 150 | | | |
| G | PA74 | | 1 | 150 | | | |
| E | PA95 | | 2 | 120 | | | |
| E | PA95 | | 1 | 120 | | | |

| ACABAMENTO FINAL | | | | | | | |
|-------------------------|-------|-------------|--------|----------------|------------------|---------------------|-----------|
| | PA | T/C's (min) | Qte/PA | Demanda mensal | T.Total Operação | T/C ponderado (min) | T/R (min) |
| A | PA64 | | 1 | 144 | 0 | | |
| B | PA65 | | 1 | 96 | 0 | | |
| C | PA126 | | 1 | 150 | 0 | | |
| D | PA146 | | 1 | 144 | 0 | | |
| E | PA95 | | 1 | 120 | 0 | | |
| F | PA73 | | 1 | 150 | 0 | | |
| G | PA74 | | 1 | 150 | 0 | | |
| | | | | | 0 | 0,0 | 10 |
| 0 estações | | | | | | | |
| CALIBRAR FINAL | | | | | | | |
| | PA | T/C's (min) | Qte/PA | Demanda mensal | T.Total Operação | T/C ponderado (min) | T/R (min) |
| A | PA64 | | 1 | 144 | 0 | | |
| B | PA65 | | 1 | 96 | 0 | | |
| C | PA126 | | 1 | 150 | 0 | | |
| D | PA146 | | 1 | 144 | 0 | | |
| E | PA95 | | 1 | 120 | 0 | | |
| F | PA73 | | 1 | 150 | 0 | | |
| G | PA74 | | 1 | 150 | 0 | | |
| | | | | | 0 | 0,0 | 10 |
| 0 estações | | | | | | | |
| JATEAR | | | | | | | |
| | PA | T/C's (min) | Qte/PA | Demanda mensal | T.Total Operação | T/C ponderado (min) | T/R (min) |
| A | PA64 | | 1 | 144 | 0 | | |
| B | PA65 | | 1 | 96 | 0 | | |
| C | PA126 | | 1 | 150 | 0 | | |
| D | PA146 | | 1 | 144 | 0 | | |
| E | PA95 | | 1 | 120 | 0 | | |
| F | PA73 | | 1 | 150 | 0 | | |
| G | PA74 | | 1 | 150 | 0 | | |
| | | | | | 0 | 0,0 | 10 |

| PRIMER | | | | | | | |
|---------------------------|-------|-------------|--------|----------------|------------------|---------------------|-----------|
| | PA | T/C's (min) | Qte/PA | Demanda mensal | T.Total Operação | T/C ponderado (min) | T/R (min) |
| A | PA64 | | 1 | 144 | 0 | | |
| B | PA65 | | 1 | 96 | 0 | | |
| C | PA126 | | 1 | 150 | 0 | | |
| D | PA146 | | 1 | 144 | 0 | | |
| E | PA95 | | 1 | 120 | 0 | | |
| F | PA73 | | 1 | 150 | 0 | | |
| G | PA74 | | 1 | 150 | 0 | | |
| | | | | | 0 | 0,0 | 10 |
| 0 estações | | | | | | | |
| PINTURA ACABAMENTO | | | | | | | |
| | PA | T/C's (min) | Qte/PA | Demanda mensal | T.Total Operação | T/C ponderado (min) | T/R (min) |
| A | PA64 | | 1 | 144 | 0 | | |
| B | PA65 | | 1 | 96 | 0 | | |
| C | PA126 | | 1 | 150 | 0 | | |
| D | PA146 | | 1 | 144 | 0 | | |
| E | PA95 | | 1 | 120 | 0 | | |
| F | PA73 | | 1 | 150 | 0 | | |
| G | PA74 | | 1 | 150 | 0 | | |
| | | | | | 0 | 0,0 | 10 |
| EMBALAR | | | | | | | |
| | PA | T/C's (min) | Qte/PA | Demanda mensal | T.Total Operação | T/C ponderado (min) | T/R (min) |
| A | PA64 | | 1 | 144 | 0 | | |
| B | PA65 | | 1 | 96 | 0 | | |
| C | PA126 | | 1 | 150 | 0 | | |
| D | PA146 | | 1 | 144 | 0 | | |
| E | PA95 | | 1 | 120 | 0 | | |
| F | PA73 | | 1 | 150 | 0 | | |
| G | PA74 | | 1 | 150 | 0 | | |
| | | | | | 0 | 0,0 | 10 |

