

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE A REDAÇÃO FINAL DA
TESE DEFENDIDA POR FÁBIO LUÍS RAMOS
DA SILVA..... E APROVADA
PELA COMISSÃO JULGADORA EM 01, 06, 2011


.....
ORIENTADOR

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Autor: Fábio Luís Ramos da Silva

**Aplicação do Projeto Axiomático no
Desenvolvimento de um Sistema de Logística
Interna e Implementação Piloto**

Campinas, 2011

Autor: Fábio Luís Ramos da Silva

Aplicação do Projeto Axiomático no Desenvolvimento de um Sistema de Logística Interna e Implementação Piloto

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado da Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica.

Área de Concentração: Materiais e Processos
de Fabricação

Orientador: Prof. Dr. Eugênio José Zoqui

Campinas
2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE -
UNICAMP

Si38a Silva, Fábio Luís Ramos da
Aplicação do projeto axiomático no
desenvolvimento de um sistema de logística interna e
implementação piloto / Fábio Luís Ramos da Silva.
--Campinas, SP: [s.n.], 2011.

Orientador: Eugênio José Zoqui.
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual
de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Logística. 2. Manufatura. 3. Projetos de
sistemas. 4. Concentração industrial. 5. Produção
enxuta. I. Zoqui, Eugênio José. II. Universidade
Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia
Mecânica. III. Título.

Título em Inglês: The application of axiomatic design for the development of an
internal logistic system and pilot implementation

Palavras-chave em Inglês: Logistics, Manufacturing, System design, Industrial
clusters, Lean manufacturing

Área de concentração: Materiais e Processos de Fabricação

Titulação: Mestre em Engenharia Mecânica

Banca examinadora: Oswaldo Luiz Agostinho, Angel Sanchez Roca

Data da defesa: 01.06.2011

Programa de Pós Graduação: Engenharia Mecânica

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
COMISSÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO

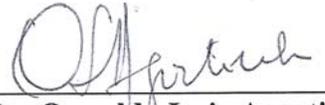
**Aplicação do Projeto Axiomático no
Desenvolvimento de um Sistema de Logística
Interna e Implementação Piloto**

Autor: Fábio Luís Ramos da Silva
Orientador: Prof. Dr. Eugênio José Zoqui

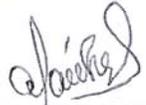
A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Dissertação:



Prof. Dr. Eugênio José Zoqui - Presidente
Faculdade de Engenharia Mecânica - Universidade Estadual de Campinas



Prof. Dr. Oswaldo Luiz Agostinho
Faculdade de Engenharia Mecânica - Universidade Estadual de Campinas



Prof. Dr. Angel Sanchez Roca
Facultad de Ingenieria Mecánica- Universidad del Oriente de Santiago de Cuba

Campinas, 01 de Junho de 2011

Dedicatória

Dedico este trabalho a minha esposa Camila Gonçalves Lenci e minha preciosa filha Isabela Lenci e Silva, sem as quais, a vida perde o sentido.

Agradecimentos

Agradeço a meus pais pelo apoio e suporte na minha formação, a qual me deu a base para o cumprimento de mais essa jornada.

À minha esposa Camila pelo imprescindível apoio quando as forças estavam escassas, pela ajuda na revisão do trabalho e pela imensa paciência e compreensão por todas as ausências, noites e fins de semana dedicados a essa tarefa.

Ao Cleber Favaro, pelas infindáveis e ricas discussões sobre o projeto axiomático e Manufatura Enxuta. Ao Luís Gustavo Nicodemo, pelas discussões sobre “Manufatura Enxuta”. Ao Matheus Pinotti, pelos desafios que enfrentamos juntos e pelo companheirismo no ambiente de trabalho.

Ao Paulo Lima e Carlos Lobo, pela experiência transmitida e pela troca de conhecimento responsável pelo enriquecimento desse trabalho.

Ao Prof. Zoqui pela orientação e por acreditar neste trabalho.

Ao Francisco Miguel Barbeiro por me dar a energia que faltava para terminar.

Homenagem póstuma a Durval Ramos, meu avô, que me fez desde cedo ver o sentido prático das coisas e me apresentou à “criatividade”, antes mesmo de eu saber o que esta palavra significava.

“O que o vulgo não pode compreender é como a vitória pode ser obtida por ele a partir das próprias táticas do inimigo. Todos podem ver as táticas individuais necessárias para a conquista, mas quase ninguém pode ver a estratégia através da qual se obtém a vitória total”

Sun Tzu, em “A Arte da Guerra”

Resumo

Mais do que em qualquer indústria, a necessidade de resposta rápida à demanda, flexibilidade para adequação ao *mix* de produção e confiabilidade nas operações são condições fundamentais em condomínios industriais para se manter um bom nível de atendimento ao cliente. Dentro desse contexto, com estoques reduzidos e *lead time* muito baixo, o desempenho do fornecedor passa a ser muito mais vulnerável às incertezas do chão de fábrica, incluindo aqui os possíveis problemas na logística.

Este trabalho apresenta a aplicação do projeto axiomático no projeto de um sistema de logística interna em um condomínio industrial, estruturando seus requisitos, bem como as soluções para cada um destes requisitos. Estão descritas as soluções aplicadas em um caso real, com foco na movimentação interna do fornecedor, na armazenagem, na programação puxada da produção e na movimentação de materiais para entregas diretas na linha de montagem do cliente.

Os indicadores de desempenho medidos pela montadora comprovam o sucesso da abordagem e do projeto definido e implementado pelo autor e sua equipe.

A aplicação de conceitos de manufatura enxuta guiam este desenvolvimento.

Palavras Chave

- Projeto Axiomático, Logística Interna, Condomínios Industriais, Manufatura Enxuta, Projeto de Sistemas de Manufatura, Arranjos Modulares

Abstract

The need of rapid response to demand, flexibility to adjust to the *mix* variation e reliability in the operations become decisive when dealing with an *Industrial Condominium* in order to obtain a good delivery performance to the client. In a scenario of extremely low inventory and lead time, the performance of a supplier is considerably vulnerable to uncertainties of the shop floor, including here logistics issues.

This thesis presents the application the axiomatic design to develop and implement an Internal Logistics System in an “Industrial Condominium”, deploying each requirement and also the solutions to meet each requirement. It is presented solutions applied to a real case that focuses on the supplier internal logistics, storage systems, pulled production programming and direct line feeding.

Key Performance Indicators measured by the car assembler provide a trustworthy success evidence for the final project and its implementation done by the author and his team.

Lean Manufacturing concepts guide this development.

Keywords

- Axiomatic Design, Internal Logistics, *Industrial Condominium*, Lean Manufacturing, Manufacturing System Design, Modular Arrays

Lista de Figuras

FIGURA 1-1: ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	4
FIGURA 1-2: ESCOPO DO TRABALHO	6
FIGURA 2-1: ABORDAGEM DA TOYOTA ÀS ATIVIDADES NÃO AGREGADORAS DE VALOR (TBM, 2000)	8
FIGURA 2-2: SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO. (LIKER, 2004)	9
FIGURA 2-3: MAPEAMENTO DE FLUXO DE VALOR TRADICIONAL (JONES & WOMACK, 2002)	13
FIGURA 2-4: MAPA DE FLUXO DE VALOR ESTENDIDO (JONES & WOMACK, 2002)	14
FIGURA 2-5: ESTADO FUTURO 2 (WOMACK & JONES, 2002)	15
FIGURA 2-6: ESTADO IDEAL (WOMACK & JONES, 2002)	16
FIGURA 2-7: COMPARAÇÃO ENTRE FREQUÊNCIA DE ENTREGA, NÚMERO DE FORNECEDORES E TIPO DE ENTREGA NA TOYOTA E EM MONTADORAS OCIDENTAIS (JONES <i>ET AL.</i> , 1997)	18
FIGURA 2-8: DESPERDÍCIOS DA MOVIMENTAÇÃO ENXUTA. FONTE: LEAN SUMMIT (2006)	24
FIGURA 2-9: ESTRUTURA DE ARMAZENAGEM – FONTE G. O. SHELVING	27
FIGURA 2-10: SISTEMA DE ENDEREÇAMENTO DE ESTRUTURAS DE ARMAZENAGEM	28
FIGURA 2-11: REBOCADORES EM OPERAÇÃO	32
FIGURA 2-12: DOLLIES – COMPONENTES BÁSICOS	34
FIGURA 3-1: OS QUATRO DOMÍNIOS DO PROJETO AXIOMÁTICO	40
FIGURA 3-2: ESTRUTURA HIERÁRQUICA DE PROJETO (ADAPTADO DE COCHRAN <i>ET AL.</i> , 2000)	43
FIGURA 3-3: REPRESENTAÇÃO DA SOLUÇÃO PARA PROJETOS: NÃO-ACOPLADOS (A), DESACOPLADOS (B) E ACOPLADOS (C). ADAPTADO DE COCHRAN <i>ET AL.</i> (2000) E LOBO (2004)	46
FIGURA 3-4: PROJETO DE UM MISTURADOR DE ÁGUA – VERSÃO CONVENCIONAL	47
FIGURA 3-5: PROJETO DE UM MISTURADOR DE ÁGUA – PADRÃO AMERICANO	48
FIGURA 3-6: PROCESSO DE PROJETO (COCHRAN <i>ET AL.</i> , 2001; LINCK, 2001)	51
FIGURA 4-1: MODELO CONCEITUAL – SISTEMA DE LOGÍSTICA INTERNA	54
FIGURA 4-2: DESCRIÇÃO DO MÉTODO	55
FIGURA 4-3: PROCESSO DE DESDOBRAMENTO DE <i>FRS</i> E <i>DPS</i> (ADAPTADO DE (COCHRAN <i>ET AL.</i> , 2001; LINCK, 2001)	56
FIGURA 4-4: ESTRATÉGIA DE DESDOBRAMENTO (VISÃO ESQUEMÁTICA)	58
FIGURA 4-5: PROJETO DE SACA ROLHAS – SELEÇÃO 1	59
FIGURA 4-6: PROJETO DE SACA ROLHAS – DESDOBRAMENTO 1	59
FIGURA 4-7: PROJETO DE SACA ROLHAS – SELEÇÃO 2	60
FIGURA 4-8: PROJETO DE SACA ROLHAS – DESDOBRAMENTO SELEÇÃO 3	60
FIGURA 4-9: SOLUÇÃO (1) PARA O SACA-ROLHAS	61

FIGURA 4-10: NOVA FR	61
FIGURA 4-11: SOLUÇÃO (2) PARA O SACA-ROLHAS	62
FIGURA 5-1: ESQUEMA DO CONDOMÍNIO – FORNECEDORES DE PRIMEIRO NÍVEL (DENTRO DO CONDOMÍNIO)	64
FIGURA 5-2: EXEMPLO DE CAPACIDADE DE PEÇAS POR EMBALAGENS	65
FIGURA 5-3: GRÁFICO DE FUNIL – COMPORTAMENTO DA VARIEDADE DE PRODUTOS FABRICADOS PELO FORNECEDOR	66
FIGURA 5-4: FLUXOS DOS ITENS FABRICADOS PELO FORNECEDOR	67
FIGURA 5-5: ESQUEMA DOS FLUXOS DE ENTREGA DOS FORNECEDORES EM DIVERSOS PONTOS DA LINHA DE MONTAGEM	67
FIGURA 5-6: MAPA DO FLUXO DO VALOR DENTRO DO CONDOMÍNIO – PEÇAS INJETADAS	69
FIGURA 5-7: MAPA DO FLUXO DO VALOR DENTRO DO CONDOMÍNIO – PEÇAS PINTADAS	69
FIGURA 5-8: REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA – CONDOMÍNIO INDUSTRIAL	71
FIGURA 5-9: SEQÜÊNCIA OPERACIONAL E FR DE NÍVEL 1	73
FIGURA 5-10: SEQÜÊNCIA OPERACIONAL E FR DE NÍVEL 1 PARA DESACOPLAMENTO	76
FIGURA 5-11: LAYOUT INSTALAÇÕES PARA SATISFAZER <i>DPS 11, 12 E 13</i>	80
FIGURA 5-12: EMBALAGEM	82
FIGURA 5-13: ESTRUTURAS DE ARMAZENAGEM	82
FIGURA 5-14: ENTREGA COM BASE NO CONSUMO DA LINHA DE MONTAGEM	85
FIGURA 5-15: CHEGADA DE EMBALAGENS VAZIAS DA LINHA DE MONTAGEM (À ESQUERDA); ENVIO DE EMBALAGENS CHEIAS PARA A LINHA DE MONTAGEM (À DIREITA)	85
FIGURA 5-16: REBOCADOR COM DIVERSAS DOLLIES ENGATADAS	86
FIGURA 5-17: PRODUÇÃO COM BASE NO CONSUMO REAL – PEÇAS INJETADAS	89
FIGURA 5-18: PRODUÇÃO COM BASE NO CONSUMO (PEÇAS PINTADAS) REAL	90
FIGURA 5-19: PONTO DE DISPARO VISUAL	91
FIGURA 5-20: QUADRO DE PROGRAMAÇÃO DE TROCA DE MOLDES	92
FIGURA 5-21: PÁTIO DE MANOBRAS PARA FÁBRICA	95
FIGURA 5-22: PÁTIO DE MANOBRA PARA CLIENTE	97
FIGURA 5-23: RETIRADA DE EMBALAGEM VAZIA NO PÁTIO DE MANOBRAS – CHAMADA DE REPOSIÇÃO	97
FIGURA 5-24: COLOCAÇÃO DE EMBALAGEM CHEIA NO PÁTIO DE MANOBRAS – REPOSIÇÃO	97
FIGURA 5-25: PADRONIZAÇÃO DA QUANTIDADE PELO KANBAN	100
FIGURA 5-26: EMBALAGENS NA LINHA DE MONTAGEM PARA KANBAN DE RETIRADA	105
FIGURA 5-27: RETIRADA DE EMBALAGEM VAZIA NA LINHA DE MONTAGEM – CHAMADA DE REPOSIÇÃO	105
FIGURA 5-28: ROTAS ALTERNADAS – SEQ. 1	106
FIGURA 5-29: ROTAS ALTERNADAS – SEQ. 2	106
FIGURA 5-30: ROTAS ALTERNADAS – SEQ. 3	107

FIGURA 5-31: ROTAS ALTERNADAS – SEQ. 4	107
FIGURA 5-32: EXEMPLO DE EMBALAGEM ÚNICA PARA FABRICA E CLIENTE, ACESSO FRONTAL	110
FIGURA 5-33: SUPERFÍCIES NÃO-AGRESSIVAS E ACESSO FRONTAL	110
FIGURA 5-34: SUPERFÍCIES NÃO AGRESSIVAS	111
FIGURA 5-35: SETAS DE SAÍDAS DE EMBALAGENS CHEIAS E VAZIAS	114
FIGURA 5-36: SENTIDO DE MOVIMENTAÇÃO DA SETAS DE ENTRADA E SAÍDA	115
FIGURA 5-37: QUADRO DE FIFO – SEQ. 1	115
FIGURA 5-38: QUADRO DE FIFO – SEQ. 2	116
FIGURA 5-39: SISTEMA FIFO – ATENDENDO CLIENTE	116
FIGURA 5-40: CONTINUAÇÃO DA PRODUÇÃO	116
FIGURA 5-41: FINAL DO LOTE DE PRODUÇÃO	116
FIGURA 5-42: ESTRUTURAS DINÂMICAS OU FLOW RACK (A – VISTA SUPERIOR, B – VISTA FRONTAL E LATERAL)	118
FIGURA 5-43: ESTRUTURA DE ARMAZENAGEM – PORTA PALLET (A – VISTA SUPERIOR, B – VISTA LATERAL, C – VISTA FRONTAL)	119
FIGURA 5-44: RACKS EM FLUXO OU <i>ESTRUTURAS DINÂMICAS</i>	120
FIGURA 5-45: <i>ESTRUTURA DINÂMICAS - CORREDORES</i>	120
FIGURA 5-46: EIXOS DE MOVIMENTAÇÃO DA TORRE	121
FIGURA 5-47: QUADRO FIFO PARA ARMAZENAGEM DINÂMICA (A) E CARTÕES DE EMBALAGEM VAZIA (B) E CHEIA (C)	123
FIGURA 5-48: ÁRVORE DE PROJETO PARA OS REQUISITOS FUNCIONAIS E PARÂMETROS DE PROJETO	125
FIGURA 6-1: DESEMPENHO DE ENTREGA NA LINHA DE MONTAGEM	128
FIGURA 6-2: DESEMPENHO DE ENTREGA NA LINHA DE MONTAGEM	129

Lista de Tabelas

TABELA 2-1: ARRANJOS MODULARES DE MONTADORAS NO BRASIL. SALERNO & DIAS (2002)	20
TABELA 2-2: COMPARATIVO DE TEMPOS PARA ROTAS ACOPLADAS E DESACOPLADAS. ADAPTADO DE HARRIS <i>ET AL.</i> (2004).	35
TABELA 2-3: COMPARAÇÃO DAS PRINCIPAIS ABORDAGENS NA CADEIA DE VALOR	36
TABELA 3-1: AXIOMAS DO PROJETO AXIOMÁTICO (SUH, 1990)	49
TABELA 3-2: COROLÁRIOS DO PROJETO AXIOMÁTICO (SUH, 2001; BLACK, 2001)	49
TABELA 6-1: MÃO DE OBRA PARA OPERAÇÃO LOGÍSTICA	130

Lista de Abreviaturas e Siglas

Letras Latinas

- A** - Matriz de Projeto (*Design Matrix*)
 - Q** - Vazão Volumétrica
 - T** - Temperatura
-

Letras Gregas

- ϕ - Ângulo de Abertura
-

Superescritos

- * - Projeto Descartado
 - n* – em FR desdobramento tentativa número *n*
 - n* – em DP desdobramento tentativa número *n*
-

Subscritos

- i* - Índice da linha em matrizes
- j* - Índice da coluna em matrizes
- m* – em FR nível *m*
- m* – em DP nível *m*

Abreviações

- 3PL** - Operador Logístico Terceirizado (*3rd Part Logistic Operator*)
- AV** - Agregar Valor
- C** - Restrição (*Constraint*)

CA	- Requisitos do Cliente (<i>Customer Attributes or Needs</i>)
DM	- Matriz de Projeto (<i>Design Matrix</i>)
DP	- Parâmetro de Projeto (<i>Design Parameter</i>)
EVA	- Economic Value Added (Valor Econômico Agregado)
FIFO	- Primeiro que entra, Primeiro que Sai (<i>First-in, First, out</i>)
FR	- Requisito Funcional (<i>Functional Requirement</i>)
LIFO	- Primeiro que entra, Último que sai (<i>Last-in, First-out</i>)
LLDD	- Projeto de Decomposição da Logística Enxuta (<i>Lean Logistics Decomposition Design</i>)
JIT	- <i>Just-in-Time</i>
JIS	- <i>Just-in-Sequence</i>
JIC	- <i>Just-in-case</i>
MOD	- Mão-de-obra direta
MOI	- Mão-de-obra indireta
NAV	- Não agrega valor
OEM	- <i>Original Equipment Manufacturer</i>
PCP	- <i>Planejamento e Controle da Produção</i>
PDU	- Ponto de uso
PDCA	- Ciclo Planejar, Fazer, Verificar e Agir (inglês: <i>Plan, Do, Check and Act</i>)
PV	- Variável de Processo (<i>Process Variable</i>)
ROI	- Retorno sobre o Investimento (<i>Return on Investment</i>)
SAP	- <i>Software Applications Products</i> – Fabricante de <i>Software</i>
SWIP	- Estoque Padrão em Processo (<i>Standard Work in Process</i>)
SCDD	- Projeto de Decomposição da Cadeia de Suprimentos (<i>Supply Chain Decomposition Design</i>)
TCO	- Tempo de Ciclo do Operador
TPS	- Sistema Toyota de Produção (<i>Toyota Production System</i>)
WIP	- Estoque em processo (<i>Work in Process</i>)

Siglas

DEF - Departamento de Engenharia de Fabricação

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Ambiente e Motivação	1
1.2 Objetivos	3
1.3 Organização e Conteúdo	3
2 REVISÃO DA LITERATURA: DA MANUFATURA À MOVIMENTAÇÃO ENXUTA DE MATERIAIS	7
2.1 A Manufatura Enxuta	7
2.2 A Cadeia de Valor Enxuta (<i>ou Empreendimento Enxuto</i>)	10
2.3 A Evolução da Organização da Cadeia de Suprimentos	17
2.3.1 Consórcio Modular	21
2.3.2 Condomínio Industrial	22
2.3.3 Plantas Satélites com Entregas JIT	22
2.4 Sistema Enxuto de Movimentação de Materiais	23
2.4.1 Sistema de Armazenagem	26
2.4.2 Sistema de Movimentação	31
3 REVISÃO DA LITERATURA: PROJETO AXIOMÁTICO	38
3.1 Definições Básicas	38
3.2 Domínios	39
3.3 Restrições	40
3.4 Axiomas	41

3.5	Decomposição do Projeto	42
3.6	Representação Matemática das Equações de Projeto	44
3.7	Exemplo de um Projeto de Misturador de Água	46
3.8	Resumo dos Axiomas e Corolários do Projeto Axiomático	48
3.9	Síntese	50
4	DESCRIÇÃO DO MÉTODO	53
4.1	Introdução	53
4.2	Modelo Conceitual	53
4.3	Método	54
4.4	Exemplo de Desdobramento e Seleção	58
5	DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO	63
5.1	Descrição do Problema	63
5.2	Desenvolvimento	70
5.2.1	Estudo do Primeiro Nível	72
5.2.2	Estudo do Segundo Nível	78
5.2.3	Estudo de Terceiro Nível	92
5.2.4	Estudo de Quarto Nível	107
5.2.5	Estudo do Quinto Nível	121
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	127
7	CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS	133
	REFERÊNCIAS	136

1. INTRODUÇÃO

Este capítulo faz uma introdução a essa dissertação, em que são descritos o ambiente e a motivação, apresentando seus objetivos, escopo e organização deste trabalho.

1.1 Ambiente e Motivação

O livro “Máquina que Mudou o Mundo” causou um profundo impacto no setor automotivo mundial. As empresas japonesas, capitaneadas pela Toyota, estavam liderando a indústria mundial a partir da adoção de um sistema de produção e de negócios chamado Sistema Enxuto. O estudo apresentado nesse livro foi o maior *benchmarking* já realizado em qualquer indústria. Esse trabalho ajudou a despertar as empresas americanas e européias para a necessidade de grandes mudanças em suas práticas. (FERRO, 2004)

A revolução preconizada pelos autores (WOMACK *et al*, 2004) também ocorreu no Brasil. No início dos anos 90, período em que estava em curso a abertura da economia para importações, havia grandes incertezas sobre as suas conseqüências para todo o setor industrial. O desempenho da indústria melhorou muito, em parte devido aos investimentos realizados nesse período, mas ainda não se atingiu todo seu potencial. Este é o grande desafio da indústria brasileira para os próximos anos, num setor onde a complexidade de *mix* é a mais alta do mundo. (FERRO, 2004)

O sistema da produção enxuta é mais eficiente porque exige menos recursos (estoques, espaço físico, tempo, esforço humano etc), aproveita mais as capacidades intelectuais humanas e é capaz de atender melhor às mudanças e demandas dos consumidores, combinando o que há de melhor entre a produção artesanal e a produção em massa (FERRO, 2004). Várias empresas conseguiram ganhos substanciais adotando técnicas de produção enxuta, porém em atividades específicas e apenas em um elo da cadeia de valor. Se esses ganhos forem estendidos para todos os elos da cadeia de valor, o desempenho global pode ser melhorado para um nível significativamente maior. (WOMACK & JONES, 1994)

Os custos relativos a materiais se tornaram uma fração significativa dos custos de produção (SUH *et al.*, 1998). A pressão pela redução dos custos foi muito forte, incluídos aqui os custos logísticos (estoque, transporte, manipulação). Existem indicativos que o estoque decresce à medida que a distância entre fornecedores e montadoras de veículos é reduzida. A proximidade facilita o *Just-in-Time* e é a chave para o Sistema Toyota de Produção ou manufatura enxuta. (DYER, 1994)

Isso se dá pela redução de *lead time* de fornecimento e a possibilidade de maior fluxo de entregas aos clientes. Dentro desse contexto, consolidou-se a formação de novas organizações montadora-fornecedor na indústria automobilística, cuja abordagem vai ao encontro da cadeia de empreendimentos enxutos proposta por WOMACK e JONES (1994). São vários casos de montadoras que utilizam esse conceito de compressão da cadeia produtiva, genericamente chamado por SALERNO & DIAS (2002), de arranjo modular. No Brasil, pode-se citar como exemplo, GM (Gravataí /RS), VW (Resende/RJ) e Ford (Camaçari/BA), entre outros casos no mundo, como o da Skoda (subsidiária de Volkswagen) na República Tcheca e da Microcompact Car, fabricante do Smart e subsidiária da Daimler Chrysler na França.

O crescente número de publicações sobre o aumento da integração montadora-fornecedor (PFOHL, 2005) e (FREDKSSON, 2005) ainda mostra que essa integração em outros locais do mundo ainda está muito baseada na busca de alguma proximidade física de fornecedores. Porém, segundo SALERNO & DIAS (2002), o Brasil desempenha um papel de destaque na evolução das estratégias modulares, uma vez que o relacionamento montadora-fornecedor vai muito além da proximidade, mas também se baseia numa relação compartilhamento de riscos com os fornecedores de primeiro nível e na redefinição das fronteiras da empresa para lidar com a vulnerabilidade inerente de baixos estoques que esses arranjos apresentam. A revista *Automotive Business* (2010) afirma que não houve grandes modificações no cenário brasileiro entre 2005 e 2009 .

No entanto, poucas fábricas podem comprar ou dedicar suas máquinas a cada produto. Os equipamentos são utilizados para fabricar uma grande variedade de produtos. Dessa maneira, as fábricas produzem um *mix* de produtos em um dado equipamento durante um certo período de tempo. Quando o número de produtos aumenta e o tempo para produzi-los diminui, a

complexidade aparece. Nesse contexto, a implementação de fluxo e sistemas puxados não é trivial. (DUGGAN, 2002)

Apesar da vasta literatura sobre o Sistema Toyota de Produção e das recentes publicações sobre os arranjos modulares, grande lacunas na bibliografia foram encontradas em relação a um método para o desenvolvimento e implementação de sistemas logísticos para uma fábrica em um ambiente de compactação da cadeia produtiva. Existe literatura basicamente descritiva e algumas experiências isoladas estão disponíveis, porém ainda falta uma abordagem sistêmica e com foco operacional para o assunto. O presente trabalho visa preencher essa lacuna.

1.2 Objetivos

Este trabalho que tem como objetivo principal:

- Desenvolver um projeto de sistema logístico em um condomínio industrial utilizando como ferramenta de projeto o “Projeto Axiomático”;

Têm-se ainda, como objetivos secundários:

- Aplicar os princípios da Mentalidade Enxuta na Logística Interna em um ambiente de compactação da cadeia produtiva;
- Validar o desenvolvimento através da sua implantação, coordenada pelo autor e sua equipe.

1.3 Organização e Conteúdo

Este trabalho apresenta um método para o desenvolvimento de um sistema de logística interna, utilizando como método de pesquisa a *pesquisa-ação*, com uma abordagem *qualitativa*.

Segundo THOLLENT (1986), a pesquisa-ação é um tipo de pesquisa com base empírica que é concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo. Neste tipo de pesquisa, os pesquisadores e os participantes representativos da situação ou problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo. Segundo BRYMAN (1989), a característica central da abordagem qualitativa é sua ênfase na perspectiva do objeto de estudo. O pesquisador é a fonte para considerar o que é relevante e importante em relação ao domínio de estudo.

O presente trabalho está dividido em 7 capítulos, conforme mostrado pela Figura 1-1:

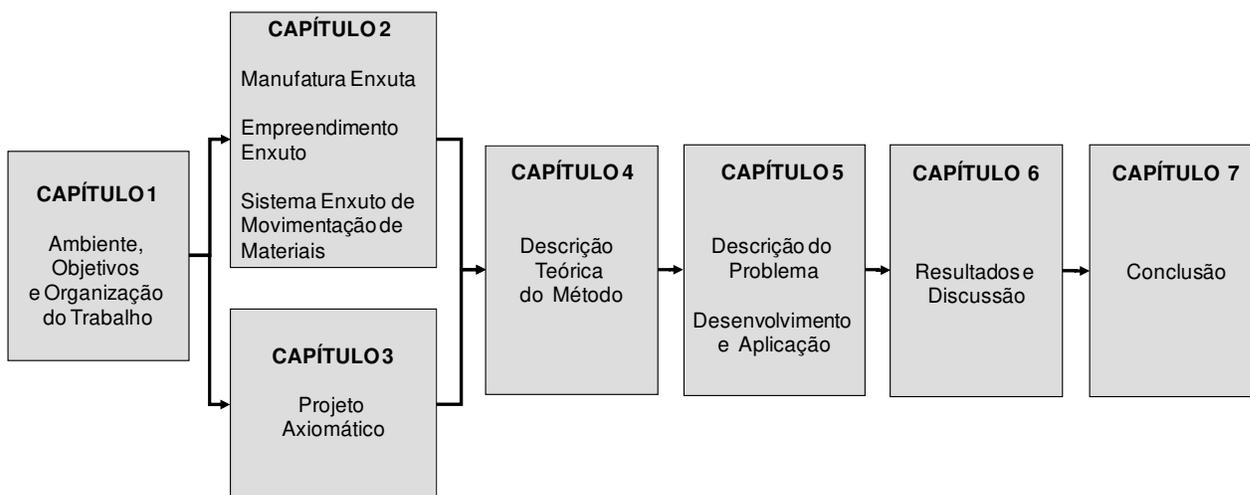


Figura 1-1: Organização da Dissertação

O primeiro capítulo se dedica a uma breve apresentação do cenário automobilístico nacional e internacional e do contexto do trabalho. O objetivo desse capítulo é situar o leitor quanto aos aspectos competitivos da indústria automotiva mundial em relação às forças motivadoras das mudanças, especialmente em relação ao *Lean* na cadeia de suprimentos, evidenciado, principalmente, pela formação dos arranjos modulares.

O segundo capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre os princípios e ferramentas presentes numa abordagem “enxuta” sobre a movimentação de materiais nesses ambientes, criando um pano de fundo para o desenvolvimento de sistemas logísticos. Em seguida, são descritas as principais características e ferramentas de um sistema de movimentação enxuto.

A revisão da literatura do Projeto Axiomático, ferramenta de projeto que foi aplicada nesse trabalho, é detalhada no terceiro capítulo. Por motivos de melhor organização do trabalho, separa-se os capítulos 2 e 3, isolando a ferramenta (Cap.3) do ambiente da aplicação (Cap.2).

O quarto capítulo descreve o método teórico, em sua forma geral, a ser utilizado no desenvolvimento do projeto.

O quinto capítulo mostra a aplicação do método teórico no desenvolvimento do projeto sistema de logística interna, cujo escopo é mostrado na Figura 1-2, e a implementação em um fornecedor de autopeças em um condomínio industrial¹. Neste capítulo descreve-se o problema de uma nova empresa em um *greenfield*², onde os princípios enxutos devem ser aplicados desde a fase do projeto até a operação de um sistema logístico. Da integração entre “Mentalidade Enxuta” e o “Projeto Axiomático” resulta a proposta de um modelo conceitual para guiar soluções de projeto, com base na definição dos requisitos específicos de um fornecedor para o projeto do sistema logístico. Também são apresentadas e comentadas a implementação, características físicas, construtivas e operacionais para cada um destes requisitos. São descritas e evidenciadas as experiências práticas do autor durante a fase de implementação.

O sexto capítulo analisa os resultados obtidos, fazendo uma reflexão qualitativa e quantitativa. São avaliadas as soluções desenvolvidas, dificuldades encontradas na fase de implementação e também analisados dados de desempenho originados e monitorados pela própria montadora em todo o complexo.

O sétimo capítulo se dedica a uma análise crítica do trabalho e propostas de futuros trabalhos.

¹ *Condomínio Industrial*: segundo Salerno (2003), é uma das formas presentes de arranjos modulares.

² *Greenfield*: Tradução literal significa uma área em que nunca se construiu nada. O sentido conotativo desse termo pode significar uma área de conhecimento pouco explorada, atividade não usual ou totalmente nova para uma determinada região

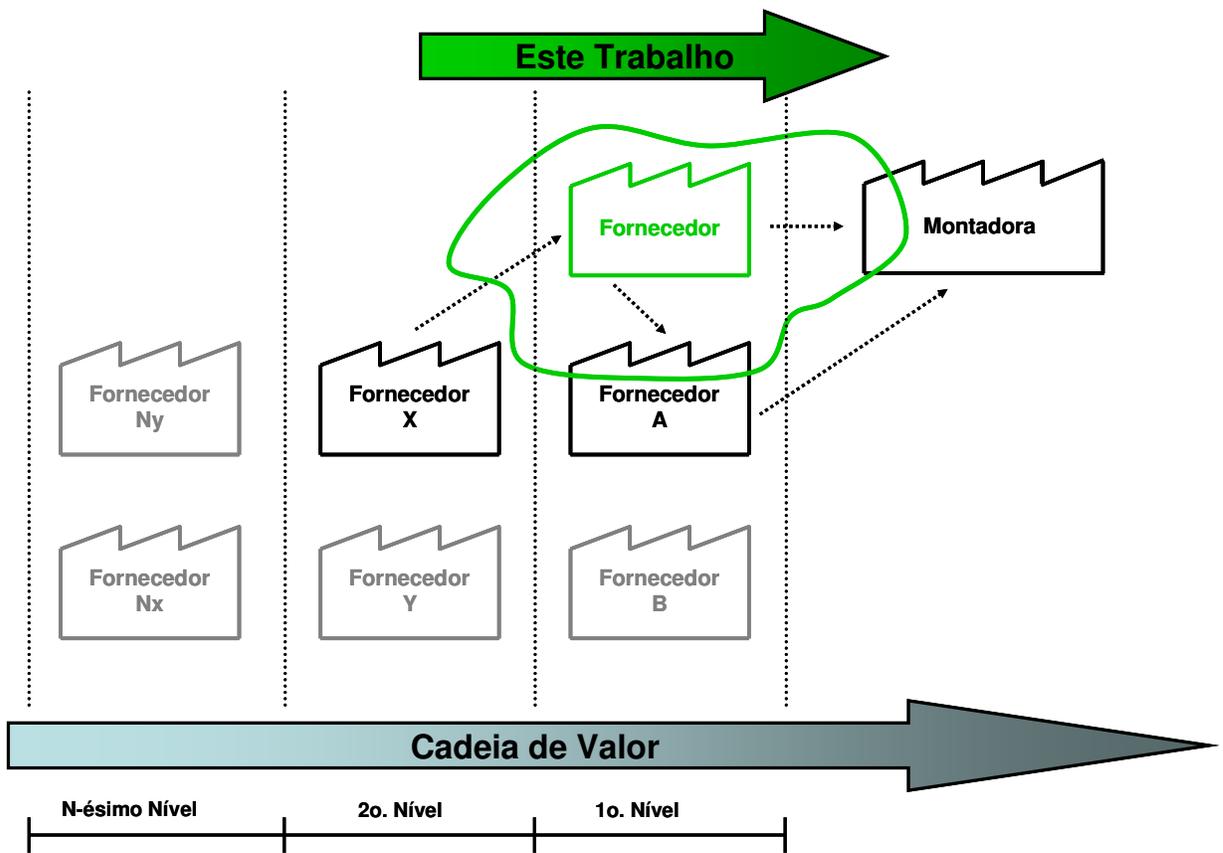


Figura 1-2: Escopo do Trabalho

2. REVISÃO DA LITERATURA: DA MANUFATURA À MOVIMENTAÇÃO ENXUTA DE MATERIAIS

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica sobre os princípios e ferramentas presentes numa abordagem “enxuta”, criando um pano de fundo para o desenvolvimento de sistemas logísticos.

É abordado o foco da Manufatura Enxuta (Sistema Toyota de Produção - *TPS*) na eliminação dos desperdícios no processo produtivo como ferramenta fundamental de melhoria de qualidade, custo e prazo. São descritos e definidos os desperdícios evidenciados pelo *TPS* com o objetivo de se desenvolver um projeto logístico no qual esses desperdícios sejam minimizados.

É descrita a relação entre a Manufatura Enxuta, Empreendimento Enxuto, a evolução da relação montadora-fornecedor através dos Arranjos Modulares³, e, finalmente, a Movimentação Enxuta de Materiais, visando situar o leitor sobre as características operacionais necessárias e ferramentas aplicáveis à logística interna para se garantir altos níveis de eficiência.

2.1 A Manufatura Enxuta

Observações feitas por SHINGO (1989) e OHNO (1988) constataam que o percentual de tempo durante o qual se agrega valor ao produto são bem menores daqueles que se espera encontrar. Assume-se aqui, para fins didáticos (Figura 2-1), que a parcela de agregação de valor (AV) seja de aproximadamente 1%. Os outros 99% do tempo em que o produto permanece na fábrica, não sofre agregação de valor algum. Isso porque, considerando o tempo em que um produto permanece na fábrica, qualquer melhoria em atividades não agregadoras de valor

³ Arranjos Modulares: É a nomenclatura utilizada para se descrever genericamente ambientes de compactação das cadeias produtivas

(NAV) causa um impacto expressivamente maior (neste exemplo cerca de 100 vezes maior) no processo produtivo, do que uma melhoria em processos agregadores de valor. (TBM, 2000)

Nesse intervalo de tempo em que não se agrega valor algum ao produto, foi identificado um grupo de sete atividades não agregadoras de valor, as quais foram chamadas de “Os Sete Desperdícios”, descritos por OHNO (1988). Para este autor, a verdadeira melhoria ocorre quando se reduz a zero as atividades que não agregam valor. A Toyota foi a primeira empresa a concentrar um grande esforço na redução dos *sete desperdícios*⁴ como estratégia de competitividade.

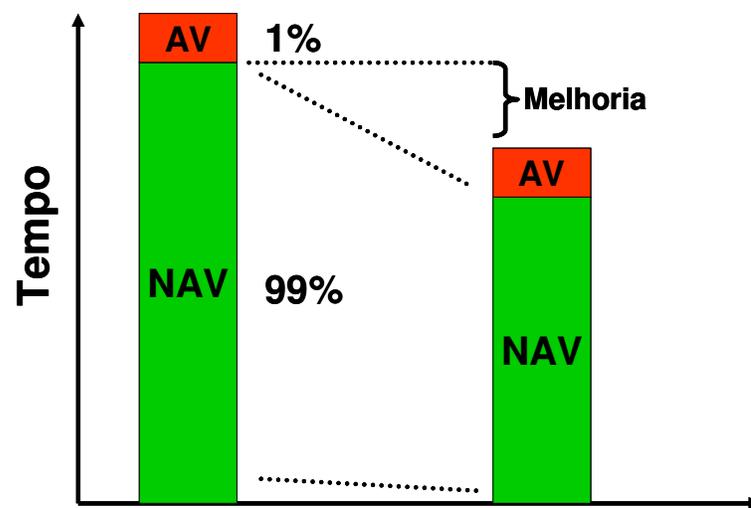


Figura 2-1: Abordagem da Toyota às Atividades Não Agregadoras de Valor (TBM, 2000)

OHNO (1988) afirma que a redução dos desperdícios deve ser feita objetivando-se a redução do tempo entre a colocação de uma ordem ou pedido de compra e o pagamento pelo bem ou serviço adquirido. SHINGO (1989) afirma que a única fonte legítima para o aumento de lucros é a redução dos custos. De maneira análoga, MONDEN (1997) coloca como requisito obrigatório o aumento dos lucros através de uma busca incessante pela redução de custos gerados pelo desperdício.

⁴ A palavra desperdício tem um significado especial para o *TPS*. Em linhas gerais, o *TPS* considera desperdício tudo que não agrega valor ao produto e os classificou em 7 tipos.

OHNO (1988) classifica os desperdícios⁵ em 7 tipos: Excesso de Produção, Espera, Transporte Desnecessário, Processo Desnecessário, Inventário, Movimento Desnecessário, Rejeitos. Este autor apresentou a estrutura do Sistema Toyota de Produção na forma de uma casa, conhecida com a Casa do Sistema Toyota de Produção. LIKER (2004) mostra outra versão do Sistema Toyota de Produção (Figura 2-2), detalhando ainda mais as ferramentas do *TPS*. Nessa versão, a logística aparece explicitamente como parte integrante do sistema de produção.

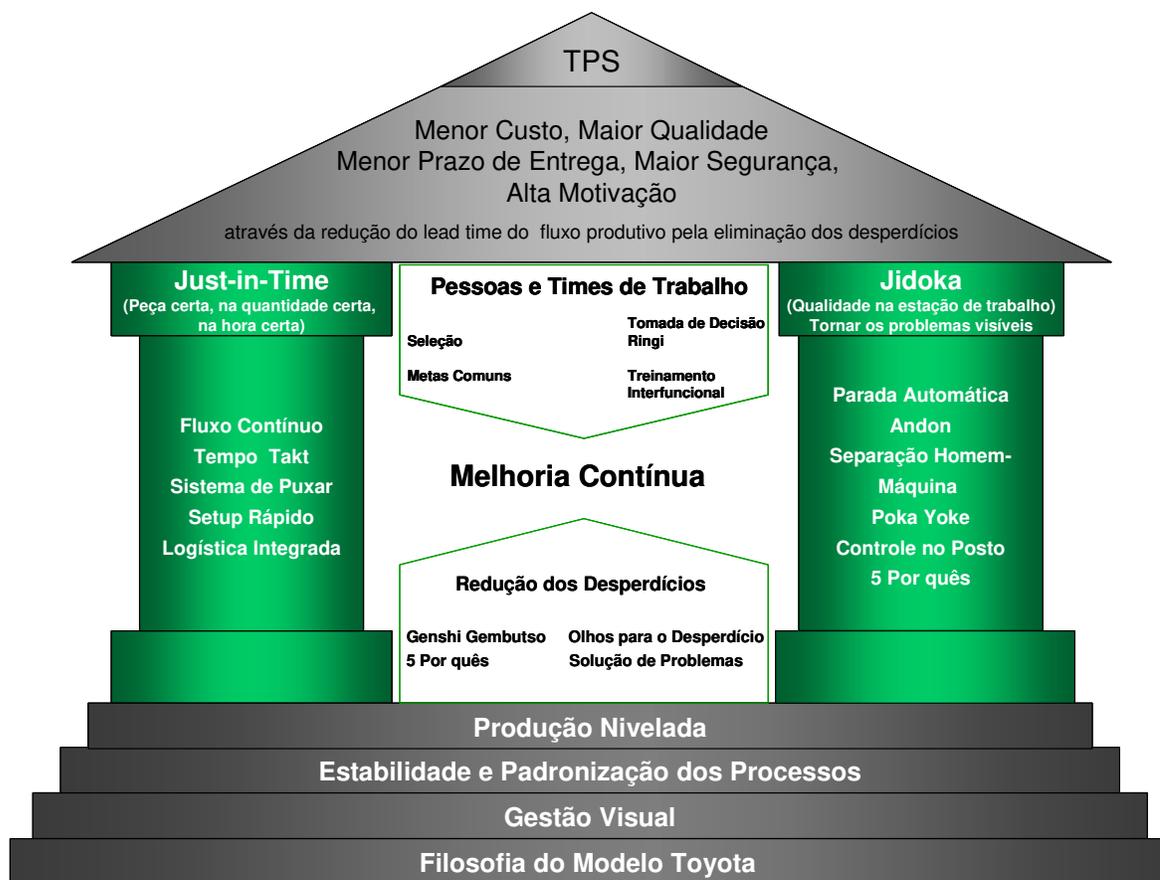


Figura 2-2: Sistema Toyota de Produção. (LIKER, 2004)

Os dois pilares do Sistema Toyota de Produção são o *Just-in-Time* e o *Jidoka* ou Autonomia.

⁵ LIKER (2004) apresenta o oitavo desperdício - Não Aproveitamento da Criatividade dos Funcionários: perder tempo, idéias, melhorias e oportunidades de aprendizado não envolvendo ou não escutando as pessoas.

O primeiro pilar do TPS *Just-in-Time* significa produzir as peças necessárias, na quantidade necessária, e no momento em que são necessárias. Segundo BICHENO (1991) *apud* SLACK (2002) o *Just-in-Time* visa atender instantaneamente à demanda, com qualidade perfeita e sem desperdícios. Os principais objetivos do *Just-in-Time* é produzir no ritmo do cliente (*Takt Time*), em fluxo contínuo, utilizando a “produção puxada”.

Segundo WOMACK *et al.* (2004), muitos fornecedores ainda vêm com ceticismo o *just-in-time* devido ao fato de se utilizar esse conceito como um expediente da montadora para transferir o estoque para os fornecedores. Parte do problema está no fato da interpretação equivocada do *just-in-time* apenas como “entregas freqüentes à instalação de montagem”. MAIA (2006) confirma esse fato, uma vez que seu trabalho sugere que o estoque no fornecedor é maior que no cliente para garantir a disponibilidade de peças que o mesmo exige.

O segundo pilar do TPS é o *Jidoka* ou automação, também é conhecida como a automação com um toque humano. A automação possui dois objetivos básicos. O primeiro é a detecção automática de produtos defeituosos, parando o processo produtivo e disparando uma ação de resolução de problemas. O segundo objetivo é a separação do “trabalho do operador” do “trabalho da máquina”, permitindo que o mesmo operador opere diversas máquinas simultaneamente, em operações diferentes.

Para WOMACK & JONES (1998), o Pensamento Enxuto é a forma de se produzir cada vez mais, com cada vez menos (menos equipamento, menos tempo, menos espaço, menos esforço) e ainda assim oferecer cada vez mais ao cliente.

2.2 A Cadeia de Valor Enxuta (ou Empreendimento Enxuto)

Atualmente, qualquer processo produtivo requer um fluxo entre diversas empresas, diversas etapas do processo produtivo que estão localizados em diferentes locais do país ou até mesmo fora dele.

O alvo do Empreendimento Enxuto ou *Lean Enterprise* é remover desperdícios em uma escala maior que simplesmente remover os desperdícios dentro de uma organização isolada. É necessária a eliminação dos desperdícios tanto *dentro* das empresas quanto *entre* as empresas. No entanto, a otimização de todos os elos da cadeia de suprimentos isoladamente não leva a uma solução de mínimo custo. Toda a cadeia de eventos deve ser mapeada, desde o pedido do cliente final até os pedidos colocados para o fornecedor de matéria-prima e, assim, sucessivamente, para todos os processos de fabricação e entrega dos produtos ao cliente. (JONES *et al.*, 1997)

JONES & WOMACK (2002) ampliam o escopo do mapeamento do fluxo de valor dos pontos de vista de uma única planta para o ponto de vista de múltiplas plantas - mapeamento de fluxo de valor estendido. Segundo estes autores, a busca incessante pela compressão e simplificação dessas cadeias traz uma imensa e duradoura vantagem competitiva. A Figura 2-3 e Figura 2-4 mostram, respectivamente, a visão do mapeamento de fluxo de valor tradicional e o mapeamento de fluxo de valor estendido.

Segundo JONES & WOMACK (2002), apesar de tentar identificar todos os 7 tipos de desperdícios, quando se está mapeamento o fluxo de valor estendido, 3 desperdícios merecem uma atenção especial:

- *Excesso de Produção*: causada pela má comunicação dentro das plantas e pelo desejo de se movimentar o produto à frente da cadeia produtiva, a fim de atingir as metas de desempenho de utilização de equipamentos;
- *Estoques Desnecessários*: causados por fluxo de informação inconstante e por processos de movimentação em lotes ao longo do fluxo;
- *Transportes Desnecessários*: ocasionados por decisões que buscam otimizar o desempenho em pontos individuais e não no fluxo global.

A redução dessas 3 formas de desperdício principalmente através de um melhor gerenciamento do fluxo de informação e da logística é a principal preocupação dentro de um mapeamento estendido. Para isso, JONES & WOMACK (2002) recomendam os seguintes passos:

- *Estado Atual*: Retrato do desempenho atual do sistema, questionando quais as etapas que agregam valor, quais etapas são desperdícios, a irregularidade de pedidos e como se pode incrementar o valor para o cliente final.

- *Estado Futuro 1:* É atingido pela introdução do fluxo contínuo, onde for possível, e pela implantação de um sistema puxado e nivelado entre as áreas de fluxo contínuo. No entanto, a interface entre as plantas é baseada no *modelo empurrado*, como ilustrado na Figura 2-3.
- *Estado Futuro 2:* É atingido pela implantação de um sistema puxado e nivelado com ciclos freqüentes de reposição entre todas as plantas que afetam o produto. As operações com armazéns são eliminadas ou convertidas em as operações de *cross-docking* ou *milk-run*. (Figura 2-5)
- *Estado Ideal:* É atingido através da co-locação em um mesmo local todas as atividades exigidas para a fabricação, eliminando praticamente todas as conexões de transporte e gerenciamento da informação. (Figura 2-6)

Com a concretização do Estado Futuro 2, obtém-se novas reduções de atividades que não agregam valor, redução do tempo de passagem e redução da amplificação da demanda⁶. A qualidade melhora, pois reduz o tempo entre a geração e a identificação de defeitos e custo geral da cadeia cai substancialmente. (JONES & WOMACK, 2002)

No Estado Ideal, o tempo de passagem representa somente uma parcela do tempo do estado inicial. A amplificação de demanda reduz-se ainda mais, a qualidade também apresenta melhorias e as atividades de transporte, carga, descarga, recebimento, expedição e armazenagem começam a desaparecer (JONES & WOMACK, 2002). Porém, o Estado Ideal não é um estado distante ou pouco provável de acontecer, visto que os alguns arranjos modulares representam esse estado, pois incluem os fornecedores-chave de primeiro nível e até alguns fornecedores de 2º nível dentro de um mesmo espaço físico.

JONES et al. (1997) acreditam que apesar de diversos pesquisadores terem colocado suas próprias ferramentas com o uma resposta para o problema da cadeia enxuta, a solução está na utilização de uma variedade de métodos derivados de diferentes áreas funcionais ou disciplinas acadêmicas.

⁶ Amplificação da Demanda ou “Efeito Chicote”: Fenômeno reportado nos anos 60 por Jay Forrester. Lee *et al* descrevem padrões de demanda em que mesmo com o cliente mantendo uma demanda constante, a variação em direção aos primeiros níveis da cadeia de suprimentos se amplificava também. .

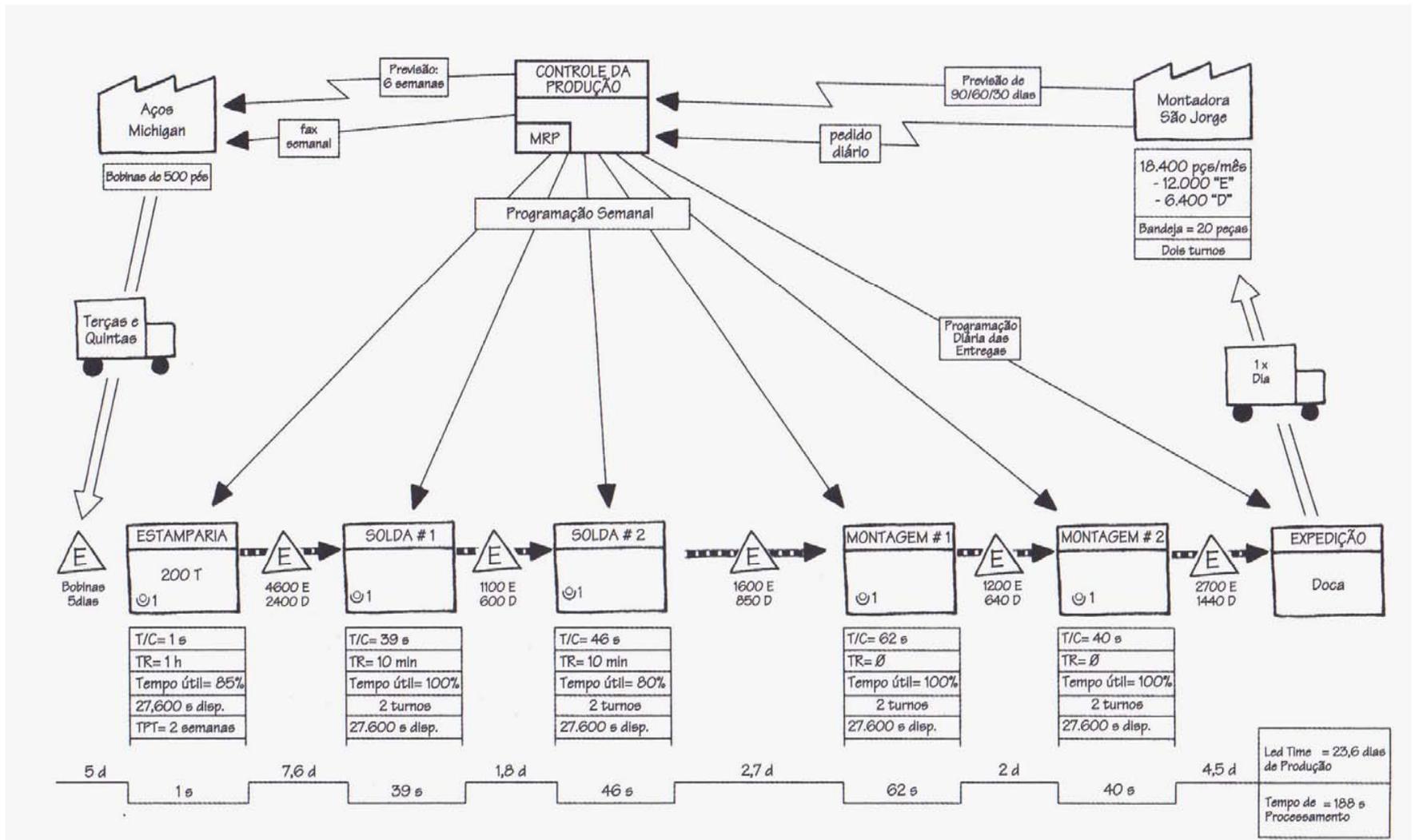


Figura 2-3: Mapeamento de Fluxo de Valor Tradicional (JONES & WOMACK, 2002)

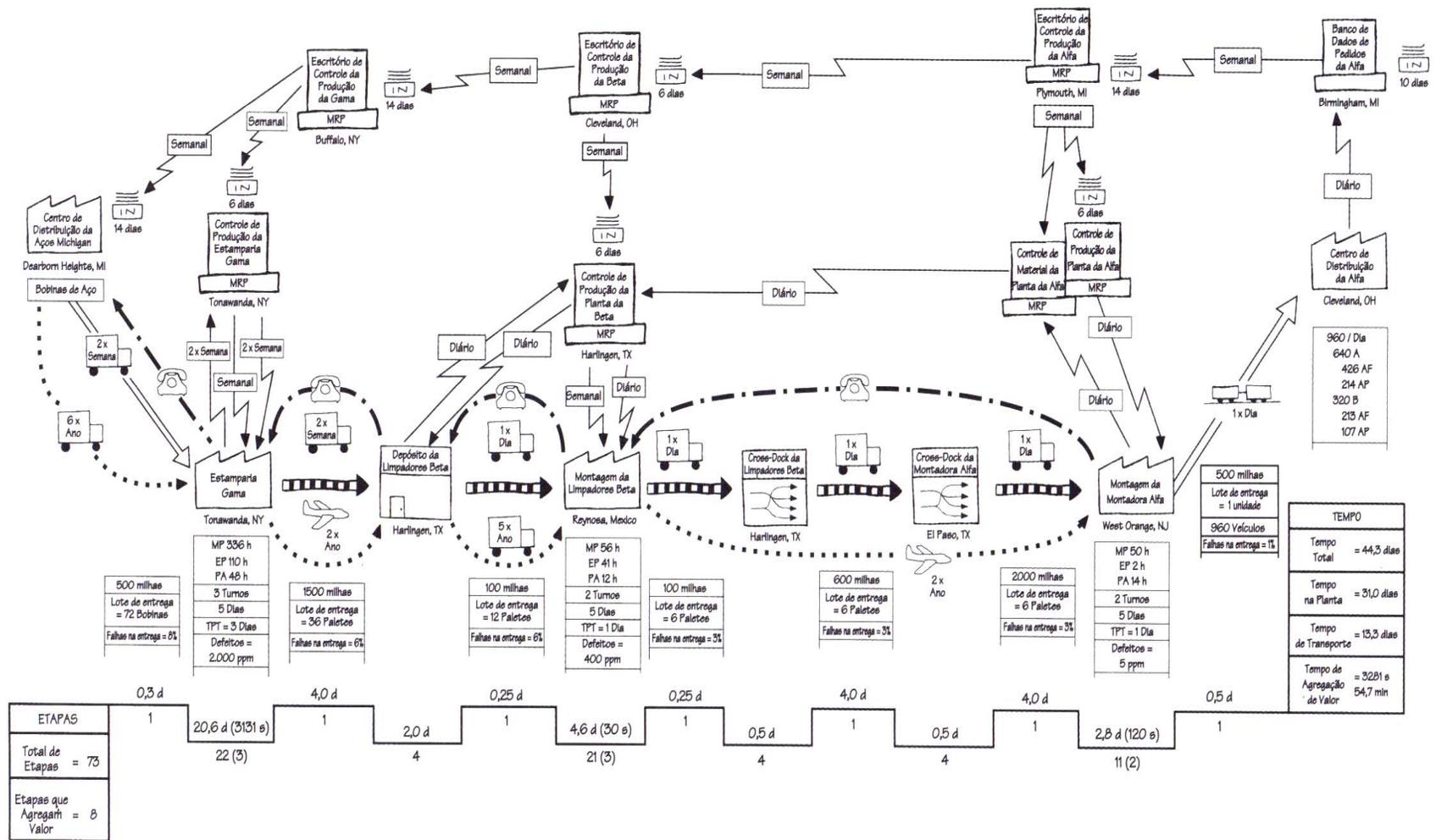
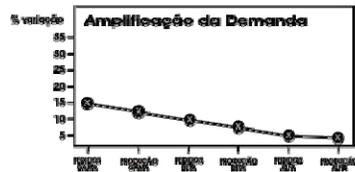


Figura 2-4: Mapa de Fluxo de Valor Estendido (JONES & WOMACK, 2002)



**Estado Futuro 2
Mapa do Fluxo de Valor dos
Limpadores Mostrando Entregas
Frequentes**

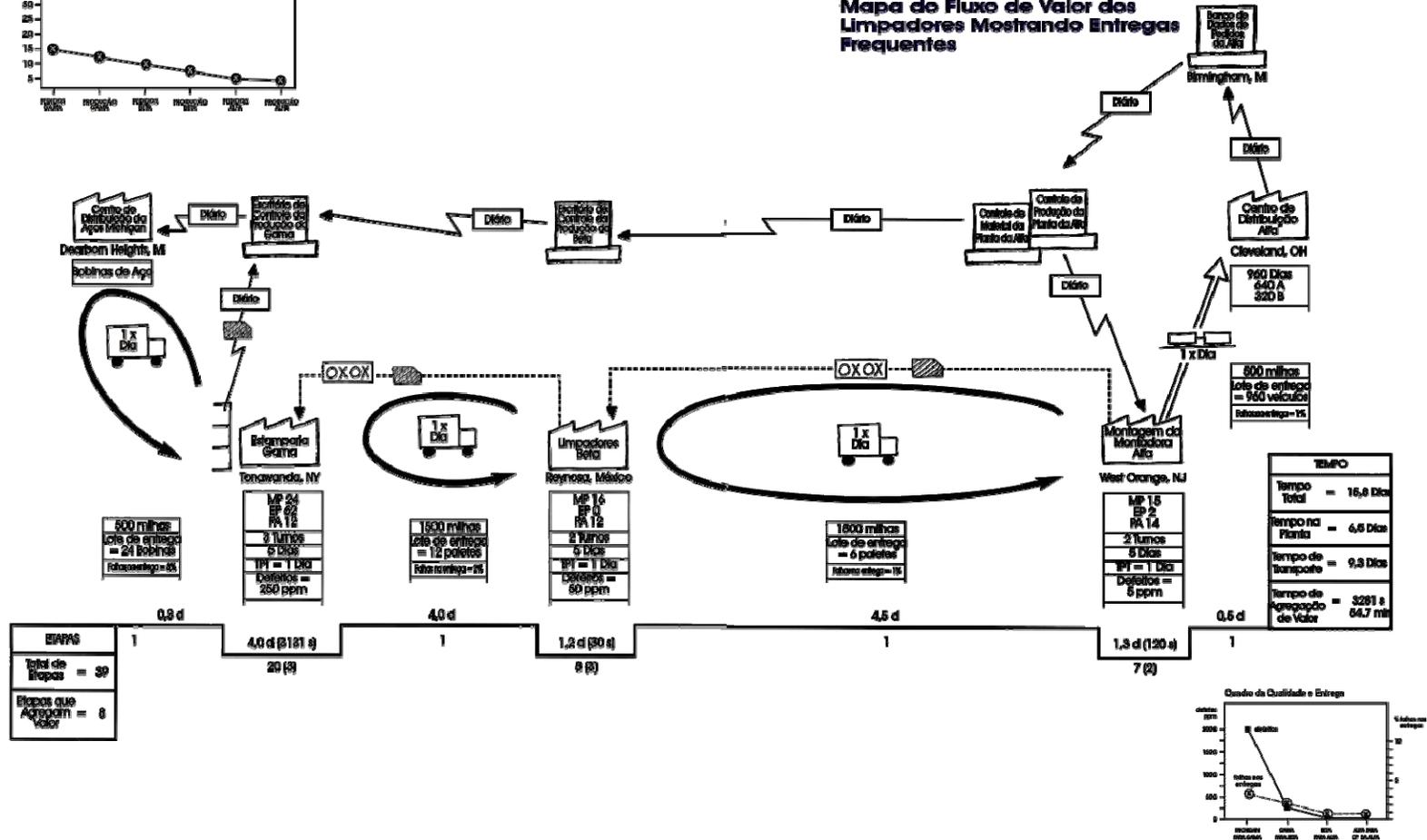


Figura 2-5: Estado Futuro 2 (WOMACK & JONES, 2002)

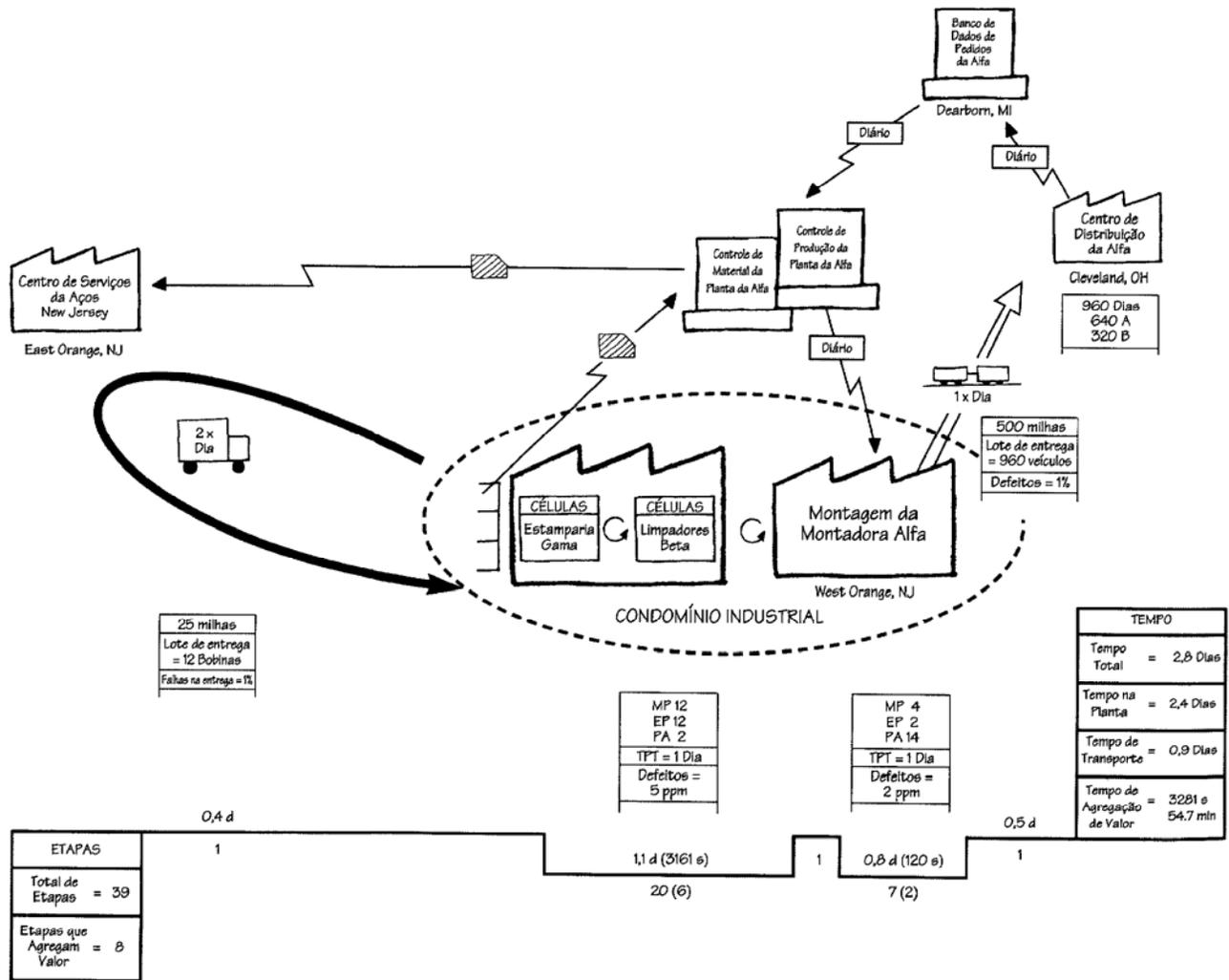


Figura 2-6: Estado Ideal (WOMACK & JONES, 2002)

2.3 A Evolução da Organização da Cadeia de Suprimentos

Um carro moderno é um produto razoavelmente complexo. Composto por mais de 10 mil peças, cada uma tendo que ser projetada e produzida, organizar esse imenso trabalho constitui um enorme desafio na fabricação de um veículo motorizado. Henry Ford imaginou ter solucionado esse problema através do conceito de integração vertical, ou seja, “faça tudo você mesmo”. No entanto, esse modelo se mostrou falho em como organizar e coordenar centenas de milhares de pessoas, em fábricas diferentes ou em escritórios de desenvolvimento. (WOMACK *et al.*, 2004)

Alfred Sloan, na época presidente mundial da *General Motors*, acreditou ter resolvido esses problemas através da descentralização do conceito do “faça tudo você mesmo”, em um modelo “divisões descentralizadas com centros de lucros independentes”. Sloan imaginava poder impor disciplina de custos e eficiência de mercado, preservando ao mesmo tempo as vantagens de uma companhia unificada. (WOMACK *et al.*, 2004)

Na metade dos anos 80, muitas companhias experimentaram a redução do percentual de peças fornecidas internamente. Essa tática inspirava-se na crença de que o segredo competitivo do sistema de suprimento japonês consistia nos salários mais baixos das companhias fornecedoras. No entanto, a chave para um suprimento competitivo de peças está na maneira como a montadora se relaciona com seus fornecedores. Se o fornecimento é externo ou interno à companhia, faz pouca diferença. (WOMACK *et al.*, 2004)

A partir de 1950, a Toyota começou a organizar seus fornecedores em níveis funcionais. Fornecedores de primeiro nível participavam integralmente do desenvolvimento do novo produto. Eles recebiam uma especificação funcional básica⁷, as demais especificações de engenharia ficavam a cargo do fornecedor. Em seguida, cada fornecedor de primeiro nível formava um segundo nível de fornecedores a ele vinculados, os quais forneciam todos os componentes para o fornecedor de primeiro nível. (WOMACK *et al.*, 2004)

SLACK *et al.* (2002) apresentam essa reorganização da rede de suprimentos de uma “rede desordenada” para uma “rede ordenada”. Esse tipo de arranjo propicia a redução do número de

⁷ Exemplo: parar um veículo de 1 tonelada, a 97 km/h, em 60m, num espaço disponível de 15 x 20 x 25 cm por um valor de 40 dólares o conjunto

fornecedores diretamente em contato com a montadora, reduzindo a complexidade de lidar ou gerenciar a rede de suprimentos e, ainda, permite um desenvolvimento mais fácil de novos produtos e também um estreitamento das relações com o fornecedor. Para PAVLINEK (2007), essa parceria resulta em um fornecimento de componentes de alta qualidade e de baixo custo e se tornou uma importante medida para redução de custos e uma estratégia de sobrevivência para a crescente competição na indústria automobilística.

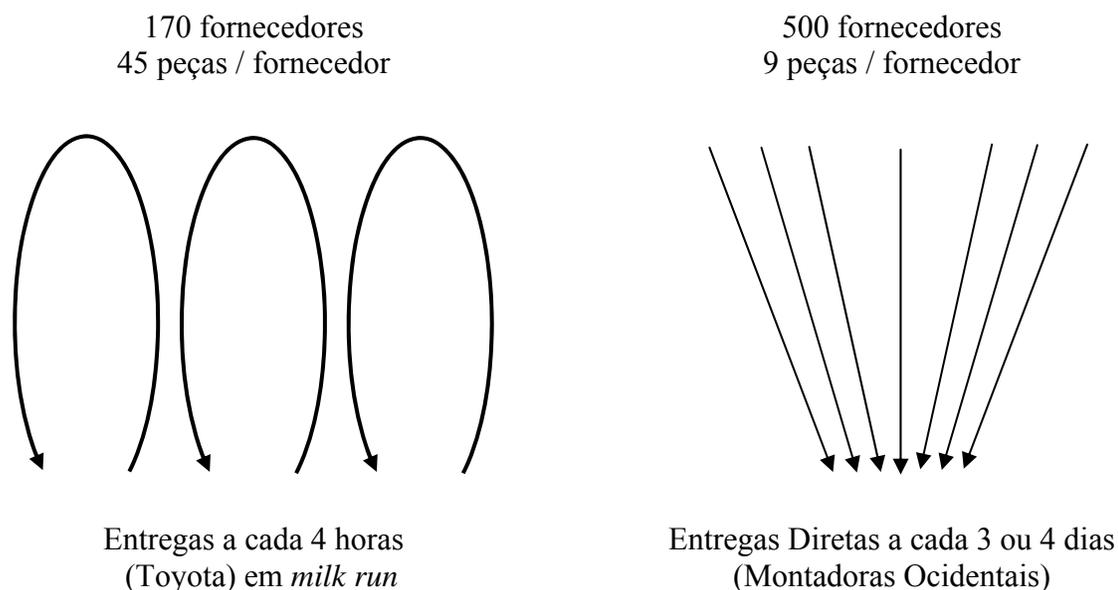


Figura 2-7: Comparação entre Frequência de Entrega, Número de Fornecedores e Tipo de Entrega na Toyota e em Montadoras Ocidentais (JONES *et al.*, 1997)

A Figura 2-7 (JONES *et al.*, 1997) mostra que uma planta típica da Toyota é suprida por uma quantidade reduzida de fornecedores (170), suprimindo uma grande variedade de peças por fornecedores (45) e em um “*milk run*” local realizado em curtos intervalos de tempo (4 horas). Ao contrário, em uma planta tradicional, recebe-se cargas diretas de um grande número de fornecedores (500), com menor variedade de peças por fornecedor (9) e em um intervalo de entrega muito maior (3 a 4 dias). MOURA (2000) comprova a viabilidade financeira da operação de “*milk run*” em algumas empresas brasileiras, desde que exista pouca flutuação da demanda e que sejam escolhidos os tipos de transportes adequados.

WOMACK & JONES (2004) afirmam que existem três maneiras de se reduzir a quantidade de fornecedores. A primeira, já citada, é a utilização de uma rede ordenada de suprimentos. A segunda é a simplificação do projeto, permitindo a redução de peças nos produtos. A terceira é a redução de redundâncias de fornecimento, ou, fornecimento exclusivo. BLACK (2001) apresenta algumas vantagens do fornecimento único, como a utilização recursos dedicados, aquisição de volumes maiores e mais constantes, facilidade de controle e monitoramento da qualidade e concentração de investimento em máquinas e ferramentas em um único fornecedor, embora ressalte a necessidade de uma maior integração cliente fornecedor.

SALERNO & DIAS (2002) chamam esse conceito de modularidade. A modularidade vai além do projeto e da produção, ela é, de fato, uma maneira de se reduzir incertezas e gastos com investimentos, remodelando assim as fronteiras dos negócios da empresa. Esta nova forma de relacionamento entre montadoras e fornecedores foi chamada por estes autores de *Arranjos Modulares*.

ALVES (2002b) constata que desde 1996 ocorreu migração de cadeias de fornecimento tradicionais para os arranjos modulares na indústria automobilística brasileira. No entanto, essa tendência não é exclusiva da indústria automotiva. AMATO (2006) também vê uma tendência da utilização de arranjos modulares na indústria aeronáutica, no entanto, esse fenômeno ainda foca somente a ordenação da malha de fornecimento, ainda que a maioria dos esforços se concentraram no uso intensivo de Tecnologia de Informação (TI) e novos canais de comunicação. MAIA *et al.* (2009) também apresenta estudos de caso em que se pode verificar a logística ainda fortemente baseada somente em sistemas de informação.

BALLOU (2006), similarmente, afirma que poucas empresas conseguem de fato uma verdadeira integração. Existe algum movimento de integração nos primeiros níveis de fornecimento, porém ainda muito baseados em grandes pacotes de software, como o *SAP*, e pouco baseados na colaboração ou no compromisso entre as partes. Abaixo do primeiro nível de fornecimento, existem poucas intenções de integração.

Apesar da terminologia para os diferentes tipos de compactação da cadeia produtiva mostrada por SAKO (2005) e SALERNO & DIAS (2002) mostrar alguma convergência, REICHHART & HOLWEG (2008), BENNETT *et al.* (2009) mostram que a terminologia ainda é conflitante. A primeira denominação encontrada para ambientes de compressão da cadeia foi

dada por PORTER (1990), chamando esta situação de aglomerados de fornecedores (tradução livre: *suppliers cluster*).

Apesar da falta de uniformidade da nomenclatura, REICHHART & HOLWEG (2008) e BENNET *et al* (2009) evidenciam que os critérios utilizados por diversos autores são predominantemente os mesmos (proximidade geográfica, investimento compartilhado, recursos dedicados, integração e sincronização, responsabilidade pela logística e grau de terceirização). Porém a grande possibilidade de combinações e o grau de combinações entre elas, gera uma enorme gama de tipos possíveis cuja tipologia se torna bastante complexa.

No entanto, a grande diferença, segundo REICHHART & HOLWEG (2008) um aglomerado de fornecedores é o resultado de um processo formal do planejamento, e não uma evolução natural local que ocorre quando uma montadora se instala em uma determinada região. CZUCHRY *et al.* (2009) defende que apesar da aplicação recente (10 anos), está comprovado com o conceito da compactação traz maior eficiência operacional e que seu desdobramento hoje é mundial.

Algumas configurações de fornecimento no Brasil utilizando os arranjos modulares descritos são apresentadas na Tabela 2-1.

Tabela 2-1: Arranjos Modulares de Montadoras no Brasil. Adaptado de SALERNO & DIAS (2002)

Montadora	Sistema	Peças Produzidas pela Montadora	Fornecedores no Condomínio
VW Resende	Consórcio Modular	Sem produção direta pela Montadora.	Sete módulos produtivos operados por fornecedores; logística e manutenção terceirizada.
VW (Taubaté)	Condomínio Industrial	Estamparia, carroceria, pintura, montagem e termoplásticos.	Nas proximidades (assentos, eixos, pára-choques, chicote, tanque de combustível, peças estampadas)
Fiat (Betim)	Condomínio Industrial	Montagem final, carroceria, pintura, motores, estamparia pesada	Suspensão, pára-choque, painel de instrumentos, sistemas de refrigeração, plásticos, pequenos e médios estampados

Tabela 2-1: Arranjos Modulares de Montadoras no Brasil. Adaptado de SALERNO & DIAS (2002) - Continuação

Montadora	Sistema	Peças Produzidas pela Montadora	Fornecedores no Condomínio
GM (Gravataí)	Condomínio Industrial com Consórcio Parcial	Carroceria, pintura e estamparia. Montagem pela GM e Fornecedores (Consórcio)	Corte de tapeçaria, estampados, assentos, painel de instrumentos, sistema de direção, painéis de porta, eixos traseiros e dianteiros, plásticos, vidros frontais, arrefecimento
Renault (S. J. do Pinhais)	Condomínio Industrial	Carroceria, pintura, montagem final. Motores em planta próxima. Estamparia terceirizada. Outras peças do Mercosul e França	Assentos, sistemas de exaustão, coluna de direção, <i>cockpit</i> e laterais de porta, eixos dianteiros e traseiros, montagem de pneus.

SAKO & MURRAY (1999) classificam os Arranjos Modulares em: Consórcio Modular, Condomínio Industrial ou Plantas Satélites com Entregas *JIT*. Essas 3 formas de arranjos são descritas a seguir.

2.3.1 Consórcio Modular

Este tipo de arranjo se baseia na total transferência das atividades de montagem para os fornecedores, os quais estão localizados em um mesmo local físico. Os fornecedores são responsáveis por todo o investimento financeiro e pelo gerenciamento diário operacional e logístico. (SAKO & MURRAY, 1999)

O projeto e os processos produtivos são divididos em módulos e os funcionários do fornecedor trabalham diretamente na planta da montadora, montando os subsistemas e montando-os no produto final. Os níveis de *outsourcing* e parceria são extremamente elevados (ALVES, 2002a e 2002b). Uma característica fundamental deste modelo é que o fornecedor não é um mero executante de uma terceirização, mas ele é responsável pelo módulo, desde a sua montagem inicial até a instalação na linha de montagem final. (REICHHART *et al*, 2008)

Um exemplo de consórcios modular é a Volkswagen – Resende/RJ. Segundo RACHID *et al.* (2006) toda a aquisição de componentes é realizada pela montadora, porém, o acompanhamento da qualidade e dos prazos de entrega dos componentes fabricados no nível 1 de fornecimento é atribuída aos modulistas lá instalados. BENNET *et al.* (2009) mostram que outro exemplo de consórcio modular é a do veículo *Smart* em Hambach, França.

2.3.2 Condomínio Industrial

Em um condomínio industrial a montadora tem o controle total da localização dos fornecedores. A montadora faz toda a negociação com o governo local, obtém o local físico e a infraestrutura, projeta todo seu sistema de produção com o foco nos módulos do produto, define sua própria operação interna e suas operações contratadas, os módulos que serão fornecidos por empresas do próprio condomínio e das redondezas. (SALERNO & DIAS, 2002)

Segundo SAKO & MURRAY (1999) uma montadora pode construir um condomínio industrial de modo que os *OEMs* possam dedicar seus ativos para fornecer módulos, algumas vezes até por transportadores diretamente da linha de montagem. RACHID *et al.* (2007) salientam que, neste arranjo, os fornecedores montam seus conjuntos mas a responsabilidade da montagem do conjunto na linha da montadora é de responsabilidade da própria montadora.

ANDRADE *et al.* (2006) citam como exemplo de sucesso a Ford Camaçari onde um novo modelo de automóvel foi um grande sucesso, mas também promoveu a Ford do Brasil a um novo grau de na aplicação da Manufatura Enxuta e de integração com fornecedores.

2.3.3 Plantas Satélites com Entregas JIT

SAKO & MURRAY (1999) e ALVES (2006) também definem outra estratégia através da localização dos fornecedores de módulos dentro de uma distância máxima (algumas dezenas de quilômetros) que permita entregas *JIT* ou *JIS* para a montadora.

Os níveis de parceria são intermediários. Um exemplo desse tipo de arranjo é a Fiat em Betim/MG, onde os fornecedores estão localizados a uma distância máxima de 100 quilômetros da montadora. (ALVES, 2006)

2.4 Sistema Enxuto de Movimentação de Materiais

É uma prática quase universal nas companhias de produção enxuta entregar os componentes diretamente na linha de montagem, muitas vezes de hora em hora, mas certamente várias vezes ao dia, sem qualquer inspeção das peças que entram. Tal procedimento está de acordo como famoso sistema *just-in-time*, inventado por Taiichi Ohno, em que caixas de peças vazias são devolvidas pela montadora ao fornecedor, gerando o sinal para se entregar ou produzir mais peças. (WOMACK *et al.*, 2004).

LARSON (2002) e SALERNO & CARNEIRO (2002, *apud* PAVLINEK, 2007) afirmam que o aumento das entregas *JIT* e *JIS*, com diversidade de cores e modelos, requer uma logística sofisticada onde é preciso garantir a confiabilidade da entrega e *lead-times* curtos para reagir às mudanças na demanda. As combinações de todas as características que o consumidor pode escolher em um veículo variam, no Brasil, segundo SCAVARDA (2005) de 6 a 548.356 combinações, com mediana igual a 296. FREDRIKSSON (2005) afirma que em um fluxo caracterizado por um *lead time* muito reduzido e com um estoque em processo muito baixo, qualquer desvio da entrega ou de qualidade devem ser rapidamente endereçados uma vez que podem parar todo o processo produtivo ou influenciar severamente a qualidade do produto final. Esse cenário acaba exigindo ainda mais da logística.

Segundo BAUDIN (2004), a logística consiste em todas as operações necessárias para entregar produtos e serviços, exceto o processo de transformação dos produtos e a realização dos serviços em si. Este autor agrupa a logística em Fluxo de Materiais, Fluxo de Informações e Fluxo Financeiro. Porém para GOLDSBY *et al.* (2005), a logística deve seguir um modelo, chamado por eles, modelo de ponte logística (*Logistic Bridge Model*), através do fluxo, capacidade e disciplina.

Segundo HARRIS *et al.* (2004), um sistema enxuto de movimentação de materiais, ou logística enxuta, é um sistema em que todos os materiais necessários fluem por toda a fábrica com muito mais precisão e com custos muito menores. Ao se analisar a atividade de movimentação de materiais em uma fábrica, conclui-se que é uma atividade não agregadora de valor para o cliente. Desse modo, a movimentação de materiais deve ser entendida como um custo que deve ser minimizado sem, todavia, qualquer prejuízo às atividades operacionais cotidianas.

Para BAUDIN (2004) e GOLDSBY *et al* (2005), a logística enxuta é o campo logístico da manufatura enxuta, isto é, uma extensão do modelo Toyota para se reduzir desperdícios. Os objetivos da logística enxuta são entregar os materiais necessários, quando necessário, na exata quantidade, convenientemente apresentados para a produção e para o cliente, perseguindo a eliminação dos desperdícios sem prejuízo à entrega.

Esse sistema visa reduzir o tempo decorrido entre o pedido e a entrega através da eliminação dos desperdícios no recebimento, armazenagem, fluxo da produção e na entrega propriamente dita (HARRIS, 2004). Segundo MARTICHENKO (2006), é possível fazer um paralelo entre os desperdícios clássicos da Manufatura Enxuta e da Movimentação Enxuta de Materiais, conforme apresentada na Figura 2-8.

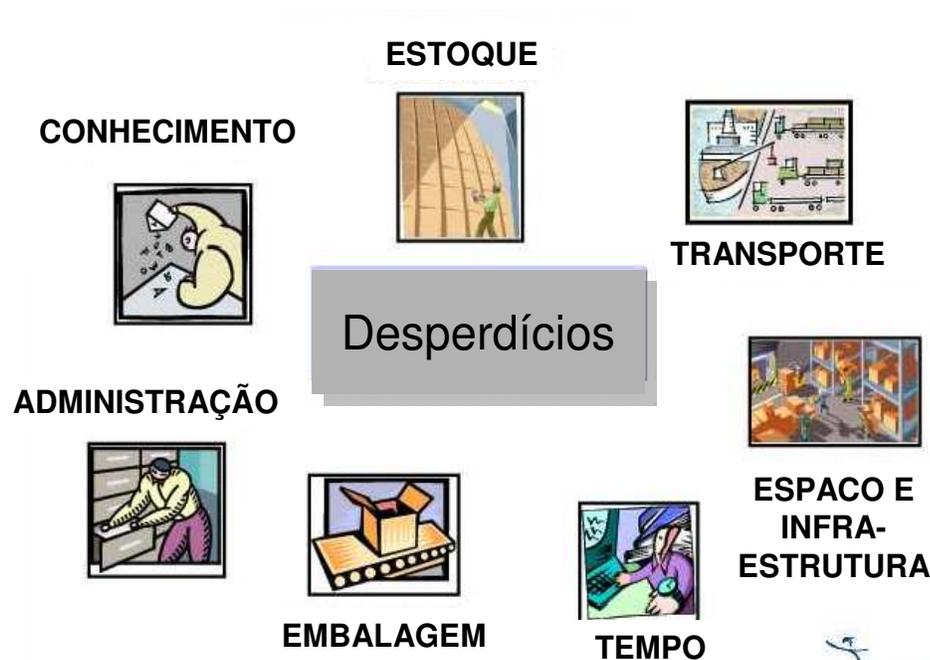


Figura 2-8: Desperdícios da Movimentação Enxuta. Fonte: Lean Summit (2006)

Para HARRIS *et al.* (2004), um sistema de movimentação enxuto deve apresentar as seguintes características:

- Um processo que descreva detalhadamente como cada peça será gerenciada, desde seu recebimento, produção até o ponto de uso na planta. (PPCP – Plano Para Cada Peça);
- Um único supermercado de peças compradas para todas as peças que entram na planta e implementar cuidadosamente regras para o seu gerenciamento;
- Um sistema preciso de rotas de entrega para levar o material necessário até o ponto de uso, utilizando o trabalho padrão;
- Um sistema de movimentação de materiais integrado ao sistema de gerenciamento da informação através do uso de sinais de “puxada” em cada área de produção, para assegurar que somente as peças consumidas pelas células sejam abastecidas;

Existe, no entanto, um ponto em que a movimentação se comunica com a produção (célula ou estação de trabalho). Dessa forma, o *layout* e as máquinas devem estar preparados para o manuseio de material. Para esses casos, ROTHER & HARRIS (2001) fazem as seguintes recomendações:

- Disponibilize as peças o mais próximo possível do ponto de uso, não invadindo o caminho do operador, de forma que o ele possa utilizar as duas mãos simultaneamente;
- Não permita que os operadores obtenham ou reestocuem suas próprias peças. Para essa tarefa utilize um abastecedor de materiais numa rota regular e padronizada para entregar e remover as peças prontas;
- Não deixe mais que 2 horas de peças na estação de trabalho;
- Utilize *kanbans* para regular a movimentação de materiais;
- Dimensione a embalagem para a conveniência do operador ou do cliente, nunca para a conveniência do abastecedor ou do processo de suprimento;
- Não interrompa os ciclos do operador para a reposição de peças. Em outras palavras, o ciclo do operador e o ciclo do abastecedor são realizados de maneira independente e em paralelo;

2.4.1 Sistema de Armazenagem

Para a operação eficiente de um sistema de armazenagem, HARRIS *et al* (2004) recomendam os seguintes passos: (1) Escolher o meio correto de armazenagem das peças, (2) Desenvolver um sistema de endereços, (3) Estabelecer procedimentos para se colocar e retirar peças e (4) Estabelecer procedimentos para se reagir aos níveis de estoque. Estes passos estão descritos nas seções subseqüentes.

2.4.1.1 Meios de Armazenagem

BAUDIN (2004) divide a armazenagem em dois principais tipos: Armazenagem Manual e Armazenagem Automatizada (AS/RS) - *Automatic Storage and Retrieve System*. A diferença básica entre armazenagem manual e a automatizada é a execução das operações de transporte. Na manual, é feita por um operador com auxílio de empilhadeira ou rebocador; já na automática, o próprio sistema de armazenagem realiza a movimentação da carga.

BAUDIN (2004) comenta que os apesar dos meios automáticos serem disponíveis desde 1980, seus usuários costumam apresentar mais arrependimento do que entusiasmo em seu uso, e afirma não ter encontrado nenhuma planta *Lean* com esse tipo de equipamento. A Armazenagem Manual tem seus exemplos os mais comuns como os porta-pallets, *racks* em fluxo, *push-back rack*, blocagem, entre outros (Figura 2-9):

- *Porta-pallets (D) ou Porta-pallets em Corredores Estreitos (B)*: Não possuem *FIFO* (*first-in, first-out*) e provêm uma menor densidade de armazenagem. (BAUDIN, 2004)
- *Racks em Fluxo ou Estruturas Dinâmicas (A)*: Sua característica construtiva garante o *FIFO*. É a armazenagem com a menor utilização de mão-de-obra, a densidade de armazenagem é bastante elevada, porém requer um espaço de armazenagem dedicado. (BAUDIN, 2004)

- *Push-back (C)*: Funcionamento e benefícios similares ao *Racks em Fluxo*, porém com *LIFO (last-in, first-out)*.
- *Prateleira de Fluxo*: Para HARRIS *et al.* (2004) as prateleiras de fluxo são similares aos *Racks em Fluxo*, as diferenças são o tamanho e peso. Dessa forma, a movimentação pode ser feita manualmente, sem o auxílio de equipamentos de movimentação.
- *Blocagem*: É o simples empilhamento da carga sobre ela mesma, sem estrutura de armazenagem alguma. O FIFO é realizado por faixas, mas existe um *LIFO* devido ao empilhamento de carga que existe dentro das faixas. (BAUDIN, 2004)

Existem diversos fatores a serem considerados na escolha dos meios de armazenagem, tais como, volume, variedade (*mix*), tamanho das peças, quantidade de peças por embalagem, quantidade de movimentações, entre outros. É comum nas indústrias a utilização de uma combinação dos meios de armazenagem para uma melhor solução. (HARRIS *et al.*, 2004)

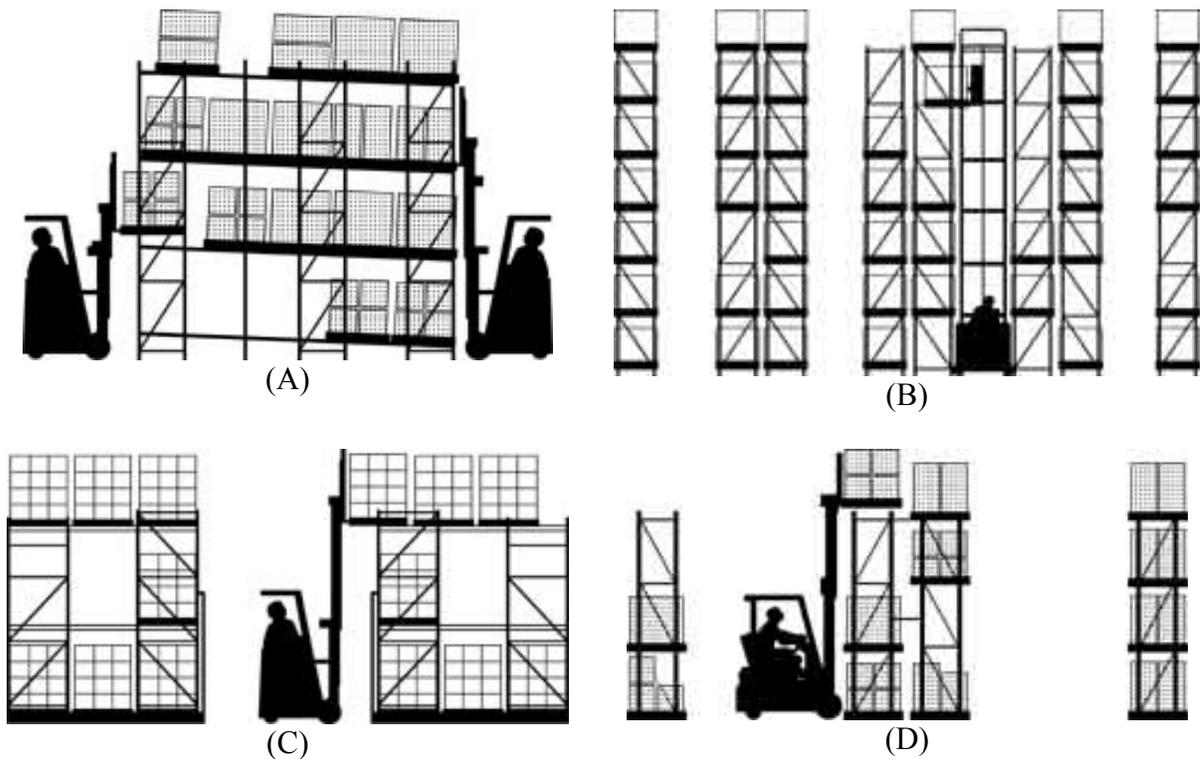


Figura 2-9: Estrutura de Armazenagem – Fonte G. O. SHELVING

BAUDIN (2004) afirma que se a frequência de uso for alta, a alocação das peças deve ser estática, isto é, em locais fixos, para grande volumes e alta frequência, *racks em Fluxo* são mais adequados; para itens de baixo volume e alta frequência porta-pallet é a solução mais adequada.

Diversas características do posto de trabalho devem ser consideradas na definição do layout de modo que ele possa propiciar um bom funcionamento da logística interna. Uma delas é propiciar que o trabalho de abastecimento esteja separado do trabalho do operador da máquina (ROTHER & HARRIS, 2001), já citado anteriormente.

2.4.1.2 Sistema de Endereços

HARRIS *et al.* (2004) recomendam que ao estabelecer um supermercado de peças, existe também a necessidade de se desenvolver um sistema formal de endereços para facilitar a localização e armazenagem das peças. Recomenda-se também a identificação da localização da estrutura de armazenagem, caso existam diversos locais onde as peças possam ser armazenadas, identificação dos locais onde a peça deve ser entregue e controles visuais para se facilitar essa tarefa, como por exemplo, *kanbans* coloridos.

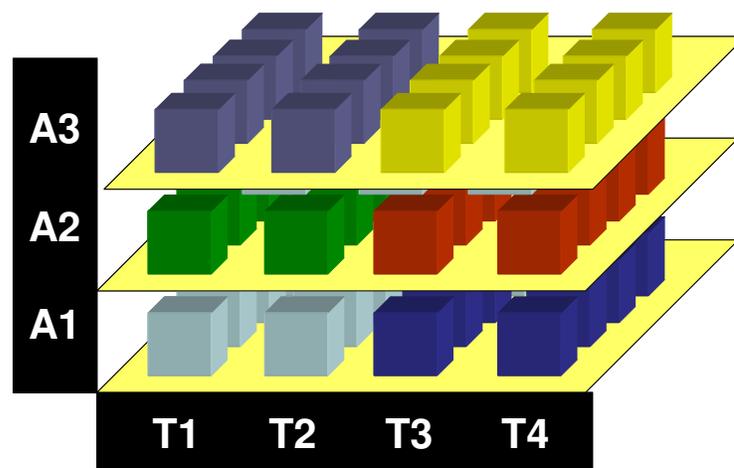


Figura 2-10: Sistema de Endereçamento de Estruturas de Armazenagem (Adaptado de HARRIS *et al.*, 2004)

A Figura 2-10 mostra um exemplo de um endereçamento do tipo Altura (A1 a A3) e Túnel (T1 a T4). A altura representa o nível de armazenagem e o túnel representa qual é a fileira de peças que será localizada.

2.4.1.3 Procedimentos para Colocar e Retirar Peças

HARRIS *et al.* (2004) ressaltam a importância de manter um rigoroso sistema *FIFO* para que as peças não fiquem sem rotatividade. Em arranjos modulares, onde se trabalha com pouco estoque na linha de montagem, a necessidade de qualquer tipo de atividade adicional não prevista pode significar a parada da linha de montagem. Desse modo, a quinta *regra do kanban*⁸ que diz que no supermercado só podem existir produtos conformes é ainda mais crítica.

Quando uma peça exige muitos níveis e colunas de prateleiras, é importante manter a seqüência do *FIFO*. Para isso, deve utilizar uma seqüência padrão (ex. esquerda para direita e de cima para baixo) e anexar uma placa de sinalização em relação à coluna e ao nível indicando o próximo ponto pelo qual deve-se retirar ou colocar os materiais. (HARRIS *et al.*, 2004)

2.4.1.4 Procedimentos para Reagir ao Estoque Acima do Nível Máximo

HARRIS *et al.* (2004) afirmam que quando os estoques chegam a um patamar acima do planejado, esse fato deve ser mostrado através de uma “Área de Excesso”, com o intuito de disparar um processo de averiguação dos motivos pelos quais o excedente ocorreu. Apesar de

⁸ Regras do Kanban (Favaro, 2003): (1) O processo cliente somente pode retirar do supermercado do processo fornecedor o item necessário, na quantidade necessária, no momento em que existirá real consumo (Ohno, 1997; Monden 1997); (2) O processo fornecedor deverá produzir de acordo com as retiradas realizadas pelo processo cliente, obedecendo à quantidade e seqüência das retiradas (Ohno, 1997; Monden 1997); (3) Nenhum item pode ser produzido ou transportado sem que haja um kanban anexado a ele (Ohno, 1997); (4) Sempre deve se colocar um cartão kanban nos produtos (Ohno, 1997); (5) Produtos defeituosos não podem ser colocados no supermercado (Ohno, 1997; Monden, 1997); (6) O número de kanban deve ser minimizado aumentando-se a sensibilidade aos problemas (Ohno, 1997; Monden 1997); (7) O kanban deve ser usado para absorver pequenas flutuações de demanda (Monden, 1997).

alguns gerentes terem uma atitude de esconder o excesso (encobrir o problema), o *TPS* explora claramente o fato de que os problemas devem ser expostos para serem apropriadamente endereçados e resolvidos.

Os problemas de excesso de estoque de material comprado (adquirido de fornecedores) podem ocorrer em consequência de falhas inesperadas em se consumir aquilo que estava previsto, entregas extras de um fornecedor ou até mesmo pedido incorretos colocados para o fornecedor (HARRIS *et al.*, 2004). Um fato similar pode ocorrer se a fábrica fornecedora produzir em um ritmo superior à demanda dos clientes. De maneira análoga, devem ser tomadas ações para evitar tal fato, como, por exemplo, a utilização de um sistema puxado⁹. TARDIN (2001) e FÁVARO (2003) discutem as formas de dimensionamentos e aplicações de sistemas puxados, respectivamente, de produção ou de movimentação.

2.4.1.5 Procedimentos para Reagir ao Estoque Abaixo do Nível Mínimo

O *nível mínimo de estoque* é aquele no qual a quantidade de peças disponíveis cai a tal ponto que requer a tomada de ações para evitar a paralisação das atividades da fábrica. Este nível pode ocorrer quando um fornecedor não envia a quantidade solicitada, a transportadora encontra algum problema em sua rota, o sistema de pedido de peças falha por alguma razão ao solicitar a quantidade correta ou quando a fábrica produz consideravelmente mais do que o planejado (HARRIS *et al.*, 2004)

Enquanto HARRIS *et al.* (2004) focam o cálculo em relação aos componentes comprados, TARDIN (2001) foca o cálculo para componentes produzidos, considerando: (1) tempo de entrega para o supermercado, cliente ou expedição; (2) tempo de fila em que o produto precisa

⁹ Sistema de produtivo em que um processo fornecedor produz para um processo cliente com base em uma demanda real, isto é, só se produz depois que ocorre uma saída física. Esse conceito surgiu de uma visita de pessoas da Toyota do Japão aos supermercados norte-americanos, onde a reposição das gôndolas era realizada somente quando o consumidor retirava produtos da prateleira e os colocava no carrinho de compras. Os locais vazios na prateleiras eram o sinal para o repositor buscar produtos no estoque e repor os produtos faltantes na prateleira. A Toyota aplicou esse conceito na manufatura a implementou esses sinal de chamada de reposição através de um cartão, chamado kanban, para sinalizar que um processo fornecedor deve fabricar para o processo cliente os produtos que saíam do supermercado. De maneira simplificada, esse sistema é denominado sistema puxado.

ser produzido, pois existe um lote de um produto anterior a ser finalizado antes que um novo produto seja iniciado; (3) nivelamento da produção do cliente, (4) tempo de preparação dos equipamentos e (5) variação da demanda no cliente.

HARRIS *et al.* (2004) recomendam que estoque de segurança seja dimensionado de modo que peças substitutas possam ser enviadas em caráter de urgência pelo fornecedor para o cliente, sem que o mesmo experimente uma falta de peças. Estes autores afirmam que declarar a emergência antecipadamente é um fator fundamental para que a operação não pare e propõem uma forma para calcular o tempo necessário para declarar essa emergência considerando comunicar e carregar o veículo, tempo de trânsito, tempo da doca à operação.

2.4.2 Sistema de Movimentação

Para HARRIS *et al.* (2004) um sistema de movimentação *Lean* é similar a uma rota de ônibus em uma cidade, deixando passageiros (as peças compradas nos pontos de uso ou as embalagens vazias para a operação) e apanhando os passageiros (embalagens de peças vazias no cliente e embalagens cheias nas áreas produtivas) em intervalos regulares. Essas rotas consistem em pontos de paradas definidos, pontos de entrega e pontos de uso, de cada produto, com horários e quantidades precisas de cada material a ser entregue através de sinais de puxada. BAUDIN (2004) e ZYLSTRA (2006) apresentam a mesma visão, afirmando que a logística lean é um sistema puxado.

Para garantir a confiabilidade das rotas, deve-se realizar o trabalho-padrão e preparar a estrutura física da fábrica (*layout*) para que os veículos de entrega de materiais tenham livre circulação, impedindo a presença de obstáculos, materiais ou pessoas nas áreas movimentação. Dessa maneira, corredores seguros e eficientes devem ser projetados para que não haja prejuízo ao tempo de ciclo do operador (TCO) e a frequência prevista de entrega das rotas, sob a pena de se causar inconvenientes à produção. Para isso deve-se (1) Identificar os Locais de Entrega na Planta, (2) Definir o Método de Transporte, (3) Determinar as Paradas e os Pontos de Entrega para a Rota e (4) Criar as Prateleiras dos Pontos de Uso (PDU). (HARRIS *et al.*, 2004)

2.4.2.1 Métodos de Transporte

Na movimentação dentro da fábrica existe uma série de variáveis a serem avaliadas ao se escolher o equipamento mais adequado para cada operação de transporte. Na verdade, pode-se decidir pela utilização de um conjunto de diferentes equipamentos de transporte em determinados ambientes fabris para obter uma melhor solução de movimentação. (HARRIS *et al.*, 2004; BAUDIN, 2004)

A seguir são apresentados os principais métodos de transporte interno:

Carrinho Elétrico ou Rebocador: Segundo HARRIS *et al.* (2004), este é normalmente o método mais eficiente quando existe uma distância considerável entre as peças e os pontos de entrega. HARRIS *et al.* (2004) afirmam que os rebocadores podem puxar diversas carretas, também chamadas *dollies* (item 2.4.2.2), contendo material para múltiplos pontos de entrega e podendo fazer curvas facilmente, especialmente ao puxar *dollies* com rodas capazes de girar. Segundo BAUDIN (2004), esse equipamento é adequado para entregar carga mista, em múltiplos locais e em intervalos muito curtos de tempo (a cada 30 minutos). HARRIS *et al.* (2004) recomendam ainda que essa operação seja feita com o operador em pé (posição vertical), caso ela seja demasiadamente repetitiva. Isso torna mais fácil e rápida a entrada e saída do operador do veículo e ainda possibilita diversas entregas nos pontos de uso sem causar transtornos ergonômicos.



(A)



(B)



(C)

Figura 2-11: Rebocadores em Operação

A pé: Segundo HARRIS *et al.* (2004) Este método, no qual o operador empurra ou puxa uma *dollie* transportando peças, é o melhor método quando a área da produção está muito

próxima do supermercado e quando as peças são compactas e leves. Caminhar também pode ser apropriado se o projeto de área não é adequada a passagem de um rebocador. BAUDIN (2004) recomenda esse tipo de transporte quando as peças são transportadas em caixas pequenas.

Bicicleta: Segundo HARRIS *et al.* (2004), esse método é útil quando um outro veículo não pode passar por alguma área e quando são transportadas mais peças do que um único operador a pé poderia transportar. Porém, uma bicicleta normalmente é limitada ao transporte de uma ou duas carretas com material leve.

Paleteira: Segundo BAUDIN (2004), as paleteiras são equipamentos para transporte horizontal de cargas pesadas em curtas distâncias, mas não tem a capacidade de empilhar e desempilhar cargas. O transporte é feito uma embalagem por vez.

Empilhadeira: Segundo HARRIS *et al.* (2004) as plantas devem restringir o uso de empilhadeiras aos locais de envio e recebimento de material, permitindo que elas passem pelo chão de fábrica somente em ocasiões especiais, como construção ou movimentação de partes de equipamentos. A empilhadeira é cara, exige corredores largos, pode causar sérios acidentes e não é um método eficiente de movimentação (HARRIS *et al.*, 2004; BAUDIN, 2004)

2.4.2.2 Dollies

São plataformas móveis sobre rodas que permitem a colocação de uma ou mais embalagens para uma movimentação com auxílio de equipamentos ou manual. Pode-se pensar a *dollie* como um pequeno vagão, isto é, um local onde será armazenado algo e rebocado para outro lugar. Elas podem ser tanto empurradas como puxadas pelo operador ou por um rebocador, porém, quando as mesmas estão engatadas, formando uma composição, pode ser necessária a utilização de um rebocador.

Ela é basicamente constituída por uma base com roletes, engate traseiro, alavanca e um puxador, conforme ilustrado na Figura 2-12.

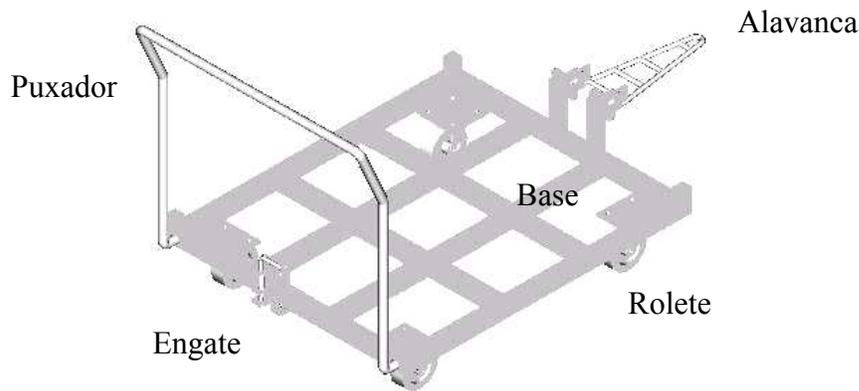


Figura 2-12: Dollies – Componentes Básicos

2.4.2.3 Definição do Tipo de Rota

Existem dois tipos de rotas: acopladas e as desacopladas¹⁰. As rotas acopladas são rotas em que o a função de movimentação até a área de consumo e a de “compra” de peças do supermercado são realizados pelo mesmo operador. Numa rota desacoplada, existe um operador para movimentar as peças até o ponto de uso e enquanto outro operador faz as compras no supermercado. (HARRIS *et al.*, 2004)

Em uma rota desacoplada, o operador da rota de entrega é responsável pela entrega física das peças, coletar os sinais de puxada e as embalagens vazias, enquanto o atendente de supermercado é o responsável por retirar as peças compradas do supermercado e colocá-las na composição. Em uma rota acoplada, a função do operador de rota e do atendente de supermercado é realizado pela mesma pessoa, enquanto em uma rota desacoplada ela é realizada por pessoas diferentes. (HARRIS *et al.*, 2004)

HARRIS *et al.* (2004) argumentam que existe uma diferença no dimensionamento das rotas de entrega ao se escolher entre uma rota acoplada ou uma rota desacoplada. Estes autores adotam

¹⁰ HARRIS utiliza acoplado e desacoplado para definir o tipo de divisão de trabalho dos operadores de movimentação na operação de uma rota de entrega. No entanto, SUH utiliza os termos acoplados e desacoplados como características de um projeto sob o ponto de vista axiomático. Salienta-se a importância dessa distinção quando estiver se referindo a uma rota ou a um projeto.

uma unidade de tempo de 1 hora (1 hora de peças) para dimensionar rotas e um tempo máximo de recarregamento de 1/3 do tempo da rota. Uma rota acoplada necessita de uma quantidade de peças sendo entregues no processo cliente, uma quantidade de peças no processo cliente e uma outra quantidade de sinais de puxadas sendo reabastecidos. Por outro lado, uma rota desacoplada necessita de uma quantidade de peças sendo entregues no processo cliente, uma quantidade de peças no processo cliente, uma quantidade de sinais de puxadas sendo reabastecidos e uma quantidade de peças sendo separadas pelo atendente de supermercado.(Tabela 2-2)

Tabela 2-2: Comparativo de Tempos para Rotas Acopladas e Desacopladas. Adaptado de HARRIS *et al.* (2004).

Método da Rota	Frequência	Tempo Disponível para a Entrega de Material	Trabalho no Mercado Realizado pelo Operador da Rota	Trabalho Realizado Pelo Atendente de Supermercado
Acoplada	X	2/3 X	1/3 X	0
Desacoplada	X	X	0	Até 2/3 X

2.5 Síntese

Esse capítulo mostrou o caminho entre a mentalidade enxuta, passando pelo empreendimento enxuto, a novas organizações das cadeias produtivas e finalmente chegando até o sistema enxuto de movimentação de materiais. Pode-se verificar que a ampla maioria dos trabalhos aqui apresentados são, na maioria das vezes, puramente descritivos ou simplesmente relatam experiências já acontecidas. É verdade também que eles apresentam uma boa lista de recomendações, porém poucos se colocam como ferramenta de projeto, e menos ainda com foco no projeto operacional em arranjos modulares.

FAVARO (2008) comenta que existe uma falta de metodologia para guiar quem está desenvolvendo um projeto através dos estágios e níveis de um projeto de logística enxuta. Este

autor afirma que BAUDIN (2004), GOLDSBY *et al* (2005) e WOMACK (2002) apresentam metodologia sem cobrir todos os níveis de detalhamento de projeto, sem uma clara seqüência de implementação e sem definir os requisitos das formas de se satisfazer os requisitos. A única similaridade é que para todos estes, é que a manufatura enxuta permeia um modelo conceitual.

Pôde-se verificar que a ampla maioria dos trabalhos relacionados aos arranjos modulares são, na maioria das vezes, descritivos, ou simplesmente relatam experiências já acontecidas, proporcionando somente um entendimento geral do assunto, sem a profundidade necessária para o projeto de um sistema logístico.

Dentre toda a bibliográfica pesquisada, ora não se utiliza uma ferramenta de projeto, ora carecem de um modelo conceitual baseado no pensamento enxuto ou ambos. Poucos focam o projeto operacional da movimentação de materiais e menos ainda o projeto operacional dentro do contexto dos arranjos modulares. A Tabela 2-3 posiciona em detalhes a abordagem dos principais autores em relação ao presente trabalho.

Tabela 2-3: Comparação das Principais Abordagens na Cadeia de Valor

Estado do Empreendimento / Autor	Escopo				Mentalidade Enxuta como Modelo Conceitual	Projeto Axiomático como Ferramenta de Projeto
	Única Planta	Entre Plantas Isoladas	Arranjos Modulares	Cadeia de Suprimentos		
TARDIN (2001)	X				SIM	NÃO
FAVARO (2003)		X			SIM	NÃO
HARRIS (2004)	X	X			SIM	NÃO
WOMACK (2002)		X	X		SIM	NÃO
BAUDIN (2004)	X	X			SIM	NÃO
ZYLSTRA (2005)				X	SIM	NÃO
GOLDSBY (2005)				X	SIM	NÃO
FAVARO (2008)				X	SIM	SIM
SCHNETZLER (2007)				X	NÃO	SIM
HOUSHMAND (2006)				X	SIM	SIM
ESTE TRABALHO			X		SIM	SIM

Toma-se como hipótese que os princípios da abordagem enxuta são uma excelente fonte de requisitos funcionais (*FRs*)¹¹ e ferramentas e soluções da Manufatura Enxuta, do Empreendimento Enxuto e da Movimentação Enxuta são uma excelente fonte de parâmetros de projeto (*DPs*).

Desse modo, conecta-se a ferramenta de projeto, com princípios e ferramentas da abordagem enxuta, criando, assim, a base de desenvolvimento do sistema de logística, apresentados nos capítulos posteriores.

¹¹ *FRs* e *DPs* são termos do Projeto Axiomático e são apresentados em detalhes no Capítulo 3

3. REVISÃO DA LITERATURA: PROJETO AXIOMÁTICO

A metodologia do projeto axiomático (SUH, 1990) foi apresentada inicialmente para o desenvolvimento de produtos, mas posteriormente foi estendida para o projeto de sistemas de produção.

Neste capítulo é detalhado o processo de projeto do “projeto axiomático” (*sic*). São descritos os conceitos básicos do projeto axiomático com seus axiomas e corolários, a caracterização dos seus domínios, hierarquia, decomposição e sua representação matemática. Além disso, são apresentadas as características que um projeto necessita possuir para ser considerado um bom projeto, sob o ponto de vista dessa metodologia.

Finalmente, são analisadas as publicações recentes relevantes e a aplicação do projeto axiomático dentro do contexto da logística interna.

3.1 Definições Básicas

Antes de prosseguir com qualquer outra discussão sobre projeto axiomático, é importante fornecer uma definição de algumas palavras-chaves que serão abordadas nesse trabalho. São elas:

- *Axioma*: Verdade evidente ou verdade fundamental para a qual não existem contra-exemplos ou exceções: Não podem ser derivados matematicamente de outras leis ou princípios da natureza (SUH, 2001). Axiomas são hipóteses formuladas de um grande número de observações, percebendo um fenômeno comum compartilhado por todos os casos. (SUH, 1990)
- *Teorema*: Uma proposição que não é evidente, mas pode ser provada pela aceitação de premissas ou axiomas e, portanto, estabelece uma lei ou princípio. (SUH, 2001) Conseqüentemente, um teorema é válido se seus axiomas de referência e seus passos dedutivos forem também válidos. (SUH, 1990)

- *Corolário*: Inferência derivada dos axiomas ou proposições que derivam de um axioma, ou ainda proposições que podem ser provadas. (SUH, 2001)
- *Requisito Funcional (FR)*: É o conjunto mínimo de requisitos que caracteriza completamente as necessidades funcionais do projeto do produto, no domínio funcional. (SUH, 1990)
- *Parâmetro de Projeto (DP)*: É a variável-chave que caracteriza a entidade física criada no processo de projeto para satisfazer uma *FR*. (SUH, 1990)
- *Restrição*: É uma condição a que todo o sistema está condicionado, isto é, qualquer *DP* deve respeitar. (SUH, 2001)

3.2 Domínios

O projeto envolve uma constante interação entre “o que nós tentamos conseguir” e “como escolhemos satisfazer essas necessidades”. Para sistematizar esse processo de pensamento envolvido nessa interação, utiliza-se o conceito de domínios, criando linhas de demarcação entre quatro diferentes tipos de atividades, as quais fornecem uma importante fundação para o projeto axiomático. (SUH, 2001).

O mundo do projeto é constituído por quatro domínios: domínio do cliente (*CAs*), domínio funcional (*FRs*), domínio físico (*DPs*) e domínio do processo (*PVs*). A estrutura de domínios é ilustrada esquematicamente na Figura 3-1. O domínio à esquerda se relaciona com o domínio à direita da maneira que este último é “como se pretende satisfazer os requisitos especificados pelo domínio da esquerda”, que representa “o que está se tentando conseguir” (SUH, 2001)

O domínio do cliente é caracterizado pelas necessidades (ou atributos) que os clientes estão procurando em um produto, processo, sistema ou material. No domínio funcional, as necessidades dos clientes estão especificadas em termos dos requisitos funcionais (*FRs*) e restrições (*Cs*). Para satisfazer essas *FRs*, devem-se desenvolver os parâmetros de projeto (*DPs*), no domínio físico. Finalmente, para fabricar um produto ou serviço, as variáveis de processo (*PVs*) devem ser desenvolvidas no domínio do processo. (SUH, 2001)

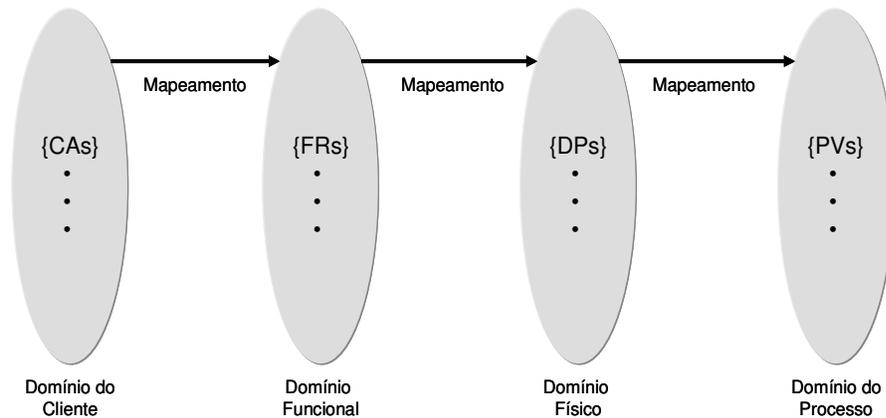


Figura 3-1: Os Quatro Domínios do Projeto Axiomático

3.3 Restrições

Os objetivos do projeto estão sempre sujeitos a restrições (*Cs*). As restrições fornecem limites nos quais as soluções do projeto são aceitáveis. Elas diferem das *FRs* pois não precisam ser independentes (SUH, 2001). Uma outra característica que distingue uma restrição de uma *FR* é que as restrições normalmente não apresentam tolerâncias associadas, ao contrário das *FRs*. (SUH, 1990)

Existem dois tipos de restrições: restrições de entrada e restrições do sistema. Restrições de entrada são aplicáveis a todos os objetivos do projeto, isto é, todos os projetos que forem propostos devem satisfazer essas restrições. As restrições de sistema são específicas para um dado projeto e são resultados das decisões de projeto tomadas. (SUH, 2001)

As restrições de entrada devem ser especificadas no início do processo de projeto, pois o produto projetado (sistemas, processos, softwares ou organização) deve satisfazer as condições de contorno tal como a voltagem ou tensão de um sistema de energia. O ambiente dentro do qual o projeto deve operar também pode impor muitas outras restrições. Todas elas devem ser satisfeitas por todo o corpo do projeto independentemente dos detalhes específicos nele contido. (SUH, 2001)

Ao contrário, outras restrições são geradas devido às decisões tomadas durante o processo de projeto. Todos os níveis superiores agem como restrições aos níveis inferiores. Por exemplo, se um motor a diesel for escolhido para ser utilizado em um automóvel, todas as outras decisões relacionadas com o veículo devem ser compatíveis com essa decisão. (SUH, 2001)

3.4 Axiomas

O postulado básico da abordagem axiomática é que existem axiomas fundamentais que governam o processo de projeto. Dois axiomas foram identificados pela observação de elementos comuns que estão sempre presentes em bons projetos, seja em um projeto de produto, processo ou sistema. Desempenho, robustez, confiabilidade e funções de produtos, processos, softwares, sistemas e organizações podem ser significativamente melhorados se esses axiomas forem satisfeitos. Máquinas e processos que não estejam funcionando bem podem ser analisados para determinar as causas da disfunção ou mau funcionamento e para resolver problemas baseados nos axiomas de projeto. (SUH, 2001)

O primeiro axioma é chamado *Axioma da Independência*. Ele afirma que deve existir uma independência entre os requisitos funcionais (*FRs*) e os parâmetros de projeto (*DPs*), onde as *FRs* são definidas como o conjunto mínimo de requisitos funcionais independentes que caracterizam os objetivos do projeto. (SUH, 2001)

O segundo axioma é denominado *Axioma da Informação*. Ele afirma que entre todos os projetos que satisfazem o *Axioma da Independência*, o melhor projeto é aquele que possui o menor conteúdo de informação. O projeto que possui menor quantidade de informação é aquele que tem a maior probabilidade de sucesso, e conseqüentemente, é considerado um projeto melhor. (SUH, 2001)

Axioma 1: *Axioma da Independência* (SUH, 2001)
 Mantenha a independência dos requisitos funcionais.

Axioma 2: Axioma da Informação (SUH, 2001)
Minimize o conteúdo de informação do projeto.

LOBO (2004) resume de maneira bastante simples e interessante os Axiomas 1 e 2. O Axioma 1 define que deve existir um “Como” para cada “O que”. Onde o “Como “ é o resultado do projeto e o “O que” é determinado pelo cliente e pela decomposição do projeto. O Axioma 2 salienta a importância de se manter a simplicidade e, ainda, que os melhores projetos são, na realidade, os projetos mais simples. (LOBO, 2004)

Um conjunto de requisitos funcionais (*FRs*) é uma descrição dos objetivos do projeto. O axioma da independência afirma que quando existem dois ou mais requisitos funcionais, a solução do projeto deve ser tal que cada requisito funcional seja satisfeito sem apresentar perturbação a qualquer outro requisito funcional. Isto significa que se deve escolher o conjunto correto de *DPs* para satisfazer as *FRs*, mantendo sua independência.

É relativamente fácil pensar em complexidade de maneira qualitativa, no entanto é consideravelmente difícil medir complexidade de uma maneira quantitativa. Existem formas de se definir conteúdo de informação. SUH (1990) adota a mesma forma da teoria da informação (Shanon and Weaver, 1949; Brillouin, 1962) *apud* SUH (1990), utilizando uma função logarítmica para informação, pois, como o projeto envolve diversas tarefas com probabilidades associadas, a probabilidade total é o produto das probabilidades associadas a cada evento.

COCHRAN (2000) afirma que existe uma grande dificuldade para calcular o conteúdo de informação do projeto. De maneira qualitativa, WON *et al.* (2001) afirmam que projetos mais simples devem ser preferidos em relação a projetos mais complexos, pois, quanto maior a complexidade, maior a quantidade de informação requerida para atingir os objetivos do projeto.

3.5 Decomposição do Projeto

O detalhamento do projeto de um produto ou de um sistema implica a decomposição do mesmo em uma estrutura hierárquica de projeto. Em um dado nível da hierarquia, uma *DP* escolhida para satisfazer a uma *FR* pode não ser implementada, pois a *DP* não possui um

detalhamento suficiente para a sua implementação. Neste momento realiza-se a decomposição, que consiste na definição de novas *FRs* e *DPs* *filhos* para as *FRs* e *DPs* *pais* que não podem ser definidas ou implementadas. Contudo, se a *DP* escolhida for um produto já desenvolvido ou comercialmente acessível, ela não precisa ser decomposta em outros níveis hierárquicos. (SUH, 2001)

Em seguida, o projeto é desenvolvido em *zig-zag* entre requisitos funcionais e parâmetros de projeto. Depois da definição do requisito funcional de mais alto nível, o passo seguinte é determinar o parâmetro do projeto que atenda esta *FR*. Este passo é representado pelo procedimento *ZIG*: ir do domínio *FR* para o domínio *DP*. (Figura 3-2 – *ZIG* (1))

Com os requisitos funcionais e os parâmetros de projeto do nível *i* definidos, faz-se necessário satisfazer o Axioma 1 – da independência. Se o Axioma 1 for satisfeito no nível *i*, a definição dos *FRs* nível *i+1* pode ser iniciada através do procedimento *ZAG*. No procedimento *ZAG*, a partir dos parâmetros de projeto do nível *i* geram-se os requisitos funcionais do nível *i+1*, como mostra a Figura 3-2 em *ZIG* (2). (SUH, 2001)

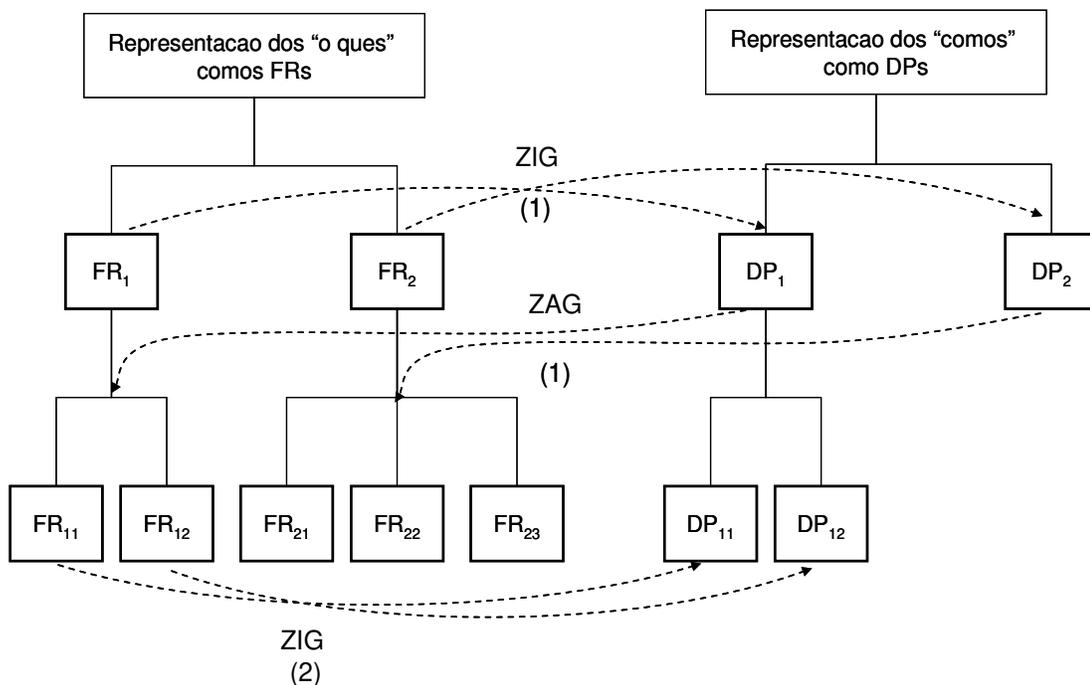


Figura 3-2: Estrutura Hierárquica de Projeto (Adaptado de COCHRAN *et al.*, 2000)

3.6 Representação Matemática das Equações de Projeto

O projeto é definido como o processo de mapeamento das *FRs* no domínio funcional e das *DPs* no domínio físico, podendo esta relação ser caracterizada matematicamente. Uma vez que as características desejadas no projeto são representadas por um conjunto de *FRs* independentes, estas *FRs* podem ser tratadas como um vetor *FR* de *i* componentes. Analogamente, as *DPs* também podem ser tratadas como um vetor *DP* com *j* componentes. O processo de projeto consiste, então, na escolha de um conjunto de *DPs* que satisfaça as dadas *FRs*. A afirmação pode ser expressa pela seguinte equação:

$$\{FR\} = [A]\{DP\} \quad (3-1)$$

onde $\{FR\}$ é o vetor de requisitos funcionais, $\{DP\}$ é o vetor de parâmetros de projeto e $[A]$ é a matriz de projeto. A matriz de projeto $[A]$ possui a forma genérica:

$$[A] = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1j} \\ A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{2j} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ A_{i1} & A_{i2} & \cdots & A_{ij} \end{bmatrix} \quad (3-2)$$

Cada elemento A_{ij} da matriz relaciona um componente do vetor *FR* a seu vetor correspondente *DP*. (SUH, 1990)

O caso mais simples em um projeto ocorre quando a matriz de projeto $[A]$ é diagonal, isto é, $A_{kk} \neq 0$ e $A_{ij} = 0$ quando $i \neq k$. Nesse caso uma representação para $i = j = 3$ pode ser escrita como:

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & 0 \\ 0 & A_{22} & 0 \\ 0 & 0 & A_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{Bmatrix} \quad (3-3)$$

Esse caso satisfaz o Axioma 1, uma vez que a independência é garantida quando qualquer *DP* é modificada, isto é, a FR_1 pode ser satisfeita simplesmente pelo ajuste de DP_1 e similarmente

as FR_2 e FR_3 pode ser feita pelo ajuste de DP_2 e DP_3 , respectivamente. Tal tipo de situação é definida como um projeto não-acoplado. (SUH, 1990)

Supondo um caso onde todos os elementos são não-nulos, o relacionamento entre as FRs e DPs é dado matematicamente por:

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{Bmatrix} \quad (3-4)$$

em que qualquer mudança na FR_1 não pode ser realizada simplesmente modificando a DP_1 , uma vez que qualquer mudança em DP_1 afeta também FR_2 e FR_3 . Esta situação viola claramente o Axioma 1. Este tipo de projeto é chamado de acoplado e, sendo assim, é um projeto não aceitável. (SUH, 1990)

Um projeto acoplado pode ser desacoplado, o que é muito comum na prática. Considerando-se o caso especial onde a matriz de projeto é uma matriz triangular SUH (1991) e SUH (2001), tal situação é representada por:

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ 0 & A_{22} & A_{23} \\ 0 & 0 & A_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \end{Bmatrix} \quad (3-5)$$

Neste caso, a independência das FRs pode ser assegurada se forem ajustadas as DPs em uma ordem particular. Somente dessa maneira, o Axioma 1 pode ser satisfeito. Nesta situação, a seqüência de perturbação das DPs é a chave para manter a independência funcional. Se variarmos DP_1 primeiro, o valor de FR_1 pode ser ajustado. Embora essa variação afete FR_2 e FR_3 , pode-se variar DP_2 e ajustar FR_2 sem afetar FR_1 . Finalmente, varia-se DP_3 para se ajustar FR_3 sem afetar FR_1 e FR_2 . Este tipo de projeto é definido como desacoplado ou quase-acoplado. (SUH, 1990)

Pode-se representar graficamente os 3 tipos de projetos: não-acoplado, acoplado e desacoplado. Para isso, utiliza-se, por motivos didáticos, $i = j = 2$. São representados em um plano cartesiano, dois eixos (Figura 3-3), um para FR_1 e FR_2 , e, um ponto objetivo, o qual se deseja atingir. Considerando primeiramente o caso de um projeto não-acoplado ($A_{2 \times 2}$), Figura 3-3

(A), verifica-se que somente com 2 iterações chega-se objetivo. Considerando o caso da Figura 3-3 (B), foi ajustado primeiro a FR_1 (mais dependente) e depois a FR_2 , também em 2 iterações. Neste último caso, a ordem de ajuste das DPs é fundamental. Diferentemente dos casos (A) e (B) (Figura 3-3), o caso acoplado (C) (Figura 3-3) requer uma série iterativa de ajustes para se chegar ao objetivo. Este último é considerado, sob o ponto de vista axiomático, um projeto não aceitável.

Cabe ressaltar que, esta representação foi feita considerando uma matriz de projeto linear, ou seja, todos os elementos da matriz $[A]$ são constantes (SUH, 1990). Em muitos casos podem ser encontrados componentes não lineares. Esse caso não será abordado nesse trabalho, no entanto, SUH (1990) discute detalhadamente essa questão.

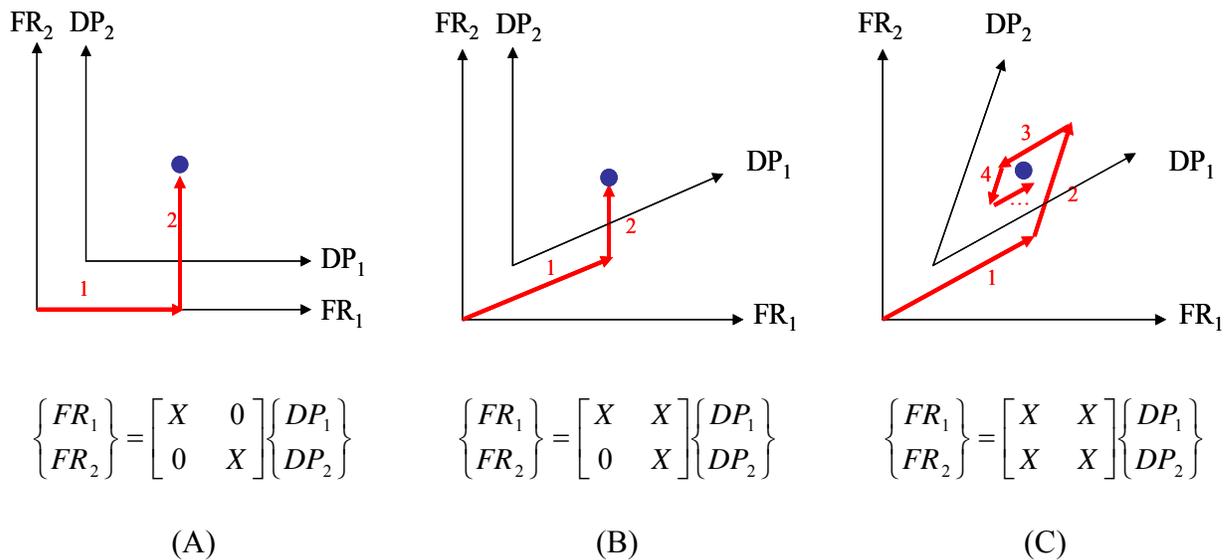


Figura 3-3: Representação da Solução para Projetos: Não-Acoplados (A), Desacoplados (B) e Acoplados (C). Adaptado de COCHRAN *et al.* (2000) e LOBO (2004)

3.7 Exemplo de um Projeto de Misturador de Água¹²

O objetivo desse exemplo é utilizar a metodologia axiomática para um projeto de produto (no caso, um misturado de água) para propiciar uma melhor compreensão do assunto. A função

¹² Adaptado do exemplo de Suh (1990)

do misturador de água é controlar o quanto sai de água pela torneira e em que temperatura. Pode-se então definir as *FRs* da seguinte maneira:

FR1: Controlar vazão de água (*Q*)

FR2: Controlar temperatura da água (*T*)

Encontram-se normalmente em residências duas fontes de água (quente e fria) em duas tubulações independentes. Esse fato complica a tarefa do projetista, pois as duas variáveis mais evidentes para o controle seriam uma válvula para a água quente e outra válvula para a água fria, no qual o parâmetro de projeto seria o ângulo de abertura de cada uma dessas válvulas. A Figura 3-4 mostra essa configuração.

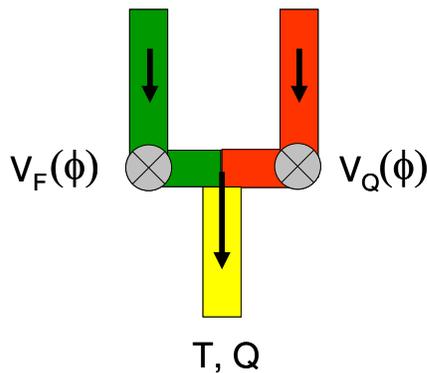


Figura 3-4: Projeto de um Misturador de Água – Versão Convencional

Para esse caso, pode-se escrever a equação do sistema como:

$$\begin{Bmatrix} T \\ Q \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & X \\ X & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} V_F(\phi_1) \\ V_Q(\phi_2) \end{Bmatrix} \quad (3-6)$$

Essa solução, aparentemente simples, é considerada um mau projeto, pois não respeita o Axioma 1. Dessa maneira, são necessárias diversas iterações até conseguirmos regular a vazão de água (*Q*) com a temperatura (*T*) que desejamos, uma vez que para mudar uma vazão, muda-se inevitavelmente a temperatura da água e vice-versa.

Outra solução, é o misturador padrão americano, esquematicamente mostrado na Figura 3-5.

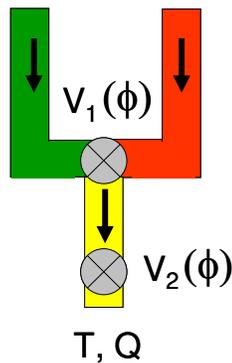


Figura 3-5: Projeto de um Misturador de Água – Padrão Americano

Para esse caso, pode-se escrever a equação do sistema como:

$$\begin{Bmatrix} T \\ Q \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 \\ 0 & X \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} V_1(\phi_1) \\ V_2(\phi_2) \end{Bmatrix} \quad (3-7)$$

Sob o ponto de vista axiomático, esse é um bom projeto, pois respeita o axioma da independência.

Neste último caso, a válvula 1 (V_1) é responsável pela fração da mistura de água quente com a água fria, determinado assim a temperatura. Desse modo, uma mudança em V_1 somente muda a temperatura da água. A válvula 2 (V_2) é responsável somente pela vazão total da água já misturada, isto é, para aumentar a vazão é necessário somente abrir a válvula 2 (V_2). O sistema é não acoplado.

3.8 Resumo dos Axiomas e Corolários do Projeto Axiomático

A Tabela 3-1 e Tabela 3-2 mostram, de forma resumida, os axiomas e os corolários do projeto axiomático. Não é intuito desse trabalho a derivação dos axiomas, e corolários, maiores detalhes são abordados por SUH (1990; 2001). No entanto, os axiomas, e corolários são justificativas para diversas decisões de projeto que são tomadas no desenvolvimento do sistema de logística interna.

Tabela 3-1: Axiomas do Projeto Axiomático (SUH, 1990)

Axioma 1	Axioma da Independência. Mantenha a independência dos requisitos funcionais
Axioma 2	Axioma da Informação Minimize o conteúdo de informação do projeto.

Tabela 3-2: Corolários do Projeto Axiomático (SUH, 2001; BLACK, 2001)

Corolário 1	Desacoplamento de Projetos Acoplados. Desacople ou separe partes ou aspectos de uma solução se as FRs são acopladas ou se tornem independentes no projeto proposto.
Corolário 2	Minimize o número de <i>FRs</i> e restrições. (SUH, 2001) Esforce-se para a máxima simplicidade do projeto como um todo ou maior simplicidade nas características físicas e funcionais. Problemas e custos de produção tem uma relação direta com o sistema de manufatura e qualquer esforço feito para simplificar o sistema resultará em economias significativas (BLACK, 2001)
Corolário 3	Integração das Partes Físicas. Integre características do projeto em uma única parte se as <i>FRs</i> podem ser independentemente satisfeitas na solução proposta. (SUH, 2001)
Corolário 4	Uso da Padronização. Use partes padronizadas ou intercambiáveis se o uso das mesmas for consistente com as <i>FRs</i> e restrições. (SUH, 2001)
Corolário 5	Uso da Simetria. Use formas ou componentes simétricos se eles forem consistentes com as <i>FRs</i> e restrições (SUH, 1998)
Corolário 6	Maior Tolerância Possível. Especifique a maior tolerância permitida na definição das <i>FRs</i> . (SUH, 2001) A especificação da maior tolerância possível reduz custos e desempenham papéis importantes na realização de um sistema de manufatura simples. (BLACK, 2001)
Corolário 7	Projetos Desacoplados com Menos Informação. Procure um projeto desacoplado que requeira menos informação que um projeto acoplado para satisfazer o conjunto de <i>FRs</i> .

3.9 Síntese

SUH (1990, 1998, 2000) afirma que o desempenho de projetos pode ser enormemente melhorado se os mesmos respeitarem o Axioma da Independência e que a probabilidade de sucesso aumenta proporcionalmente com o grau de simplicidade (Axioma da Informação). Similarmente, WON *et al.* (2001) afirmam que projetos mais simples requerem menor quantidade de informação para atingir os objetivos.

COCHRAN *et al.* (2001) apresentam de maneira simplificada o processo de decomposição do projeto axiomático, ilustrado na Figura 3-6. A decomposição ocorre à partir da determinação de *FR*, síntese de potenciais *DPs* e avaliação da Matriz de Projeto, procurando o não acoplamento ou o desacoplamento das equações de projeto. Caso exista um acoplamento, uma nova síntese de *DPs* deve ser buscada ou, segundo SUH (2000), novas *FRs* e *DPs* devem ser avaliadas. Esses autores avaliam as *DPs* de forma que elas sejam o conjunto mínimo de informações necessárias para o projeto e verificam se as *DPs* possuem detalhamento suficiente para serem implementadas. Caso haja detalhes suficientes, chegou-se ao fim da solução, caso contrário, é necessário um processo de decomposição onde as *DPs* de nível *i* geram os requisitos funcionais (*FRs*) de nível *i + 1*.

No projeto de produtos físicos já existe uma compreensão muito grande sobre o que o termo “projeto” significa. Por mais complexo que o produto possa ser, é possível estabelecer as características e atributos desejados pelos consumidores. Parte da dificuldade de projetos de sistemas de manufatura requer uma abordagem multidisciplinar envolvendo, muitas vezes, conhecimentos de ciências não-exatas. Além disso, os sistemas de manufatura são difíceis de serem compreendidos em seu todo, devido a interação com as pessoas que o operam e o gerenciam. (COCHRAN *et al.*, 2001)

Muitas abordagens são usadas para tratar os fluxos logísticos e de processos. A abordagem axiomática desenvolvida por Suh não obteve muita atenção pois era entendida como uma ferramenta de projeto de produtos (COTOIA, 2001 *apud* HOUSHMAND *et al.*, 2006). No entanto, SUH (1990) afirma que Projeto Axiomático pode ser usado como ferramenta para

objetos não compreendidos no campo da engenharia de produtos, tais como, estratégias de tecnologia, planos de negócios e organizações.

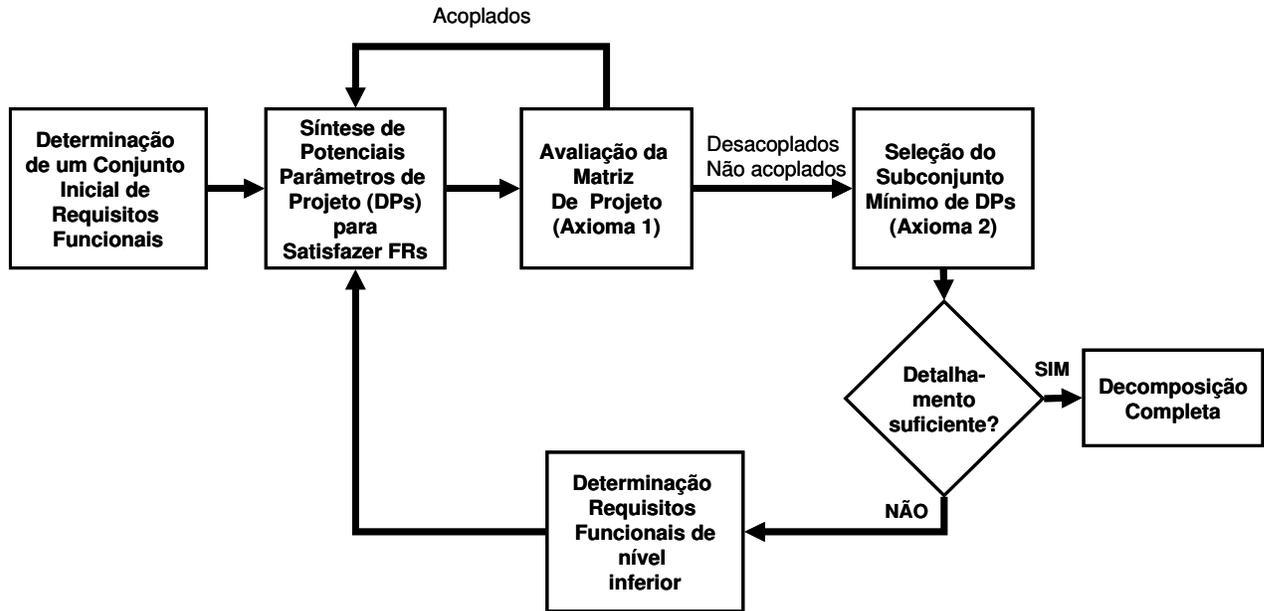


Figura 3-6: Processo de Projeto (COCHRAN *et al.*, 2001; LINCK, 2001)

SUH (1998; 2000) diversas vezes menciona que o projetista faz “escolhas” na fase de projeto. Segundo LINCK (2001) o projeto axiomático estrutura o desenvolvimento e a documentação das etapas de projeto, porém não elimina a necessidade de criatividade, uma vez que o processo de desdobramento e formulação de *FRs* e *DPs* é um processo fundamentalmente criativo. No entanto, COCHRAN *et al.* (2001), acreditam que essas escolhas nunca possuem uma liberdade total e estão sempre relacionadas a algum modelo conceitual (tradução livre: *framework*). Este modelo conceitual, estabelecendo a relação entre princípios da abordagem enxuta, as ferramentas da abordagem enxuta e o condomínio industrial (contexto em que o problema deve ser resolvido), é descrito no capítulo 4.

Similarmente, MORGAN& LIKER (2006) *apud* MOSSMAN *et al.* (2010) observa que uma das formas de projeto se desenvolve a partir de um conjunto possível de soluções conhecidas (*set-based design*) e assim selecionadas e aplicadas em problemas de produção ou de projeto.

O uso de projeto axiomático tendo a Manufatura Enxuta como modelo conceitual pode ser visto em AULAKH *et al* (2009), SUH *et al* (1998). São poucos os exemplos da utilização do

projeto axiomático com projetos de logística enxuta. Os trabalhos mais próximo encontrado, ainda assim distante, é de HOUSHMAND *et al.* (2006) e FAVARO (2008). No primeiro, os autores afirmam que a Logística Enxuta é uma nova abordagem para melhorias na cadeia de suprimentos e apresentam a abordagem axiomática como adequada para a melhoria dos processos logísticos com implementação via kaizen. No segundo, o mais próximo de todos, a logística enxuta é desdobrada em 5 grande grupos (1) Estrutura da Cadeia de Suprimentos, (2) Qualidade, Entrega no Prazo, (3) Lead Time, (4) Custos e Despesas, (6) Inventário, (7) Termos de Pagamento e ativos, os quais são derivado de um direcionador de valor econômico agregado (EVA)

Outro trabalho com abordagem similar é de SCHNETZLER *et al.* (2007). Estes autores apresentam um método sistemático de desenvolvimento da cadeia de suprimentos utilizando o projeto axiomático, porém, num contexto mais amplo e num ambiente muito mais conceitual.

Interessante notar que em todos os trabalhos com abordagem conceitual pesquisados, os autores buscam direcionadores (*drivers*) para iniciar o desdobramento. SUH *et al.* (1998), SCHNETZLER (2007), FAVARO (2008) utilizaram direcionadores financeiros, *ROI* e *EVA*, como direcionadores iniciais. HOUSHMAND *et al.* (2006) utilizaram o combate aos desperdícios na organização, no fluxo de informação e no fluxo de materiais, como um direcionador inicial. O direcionador para o presente trabalho também deve ser encontrado.

4. DESCRIÇÃO DO MÉTODO

Este capítulo mostra a descrição genérica e teórica do método, mostrando o conjunto de passos a serem seguidos e seus detalhamentos, visando prover base para o desenvolvimento específico do sistema de logística interna, o qual é o objeto deste trabalho e que será mostrado no próximo capítulo.

4.1 Introdução

O método consistente na combinação de um modelo conceitual, associado ao ciclo PDCA, no qual está contido o projeto axiomático.

O modelo conceitual, já mencionado anteriormente, é a linha mestre que orienta o autor em relação as restrições, ambiente e princípios dentro dos quais todo o projeto deve se alinhar.

O Ciclo PDCA é um ciclo de desenvolvimento que tem foco na melhoria contínua. Como, *a priori*, não é possível garantir que uma *DP* escolhida realmente atende as *FRs* é necessário um ciclo, ciclo PDCA, que garanta que somente uma “boa” *DP* seja implementada e incorporada ao projeto do sistema logístico.

O Projeto Axiomático foi escolhida como ferramenta de projeto para orientar o desenvolvimento e implementação.

4.2 Modelo Conceitual

O modelo conceitual proposto (Figura 4-1) abaixo mostra que o ambiente onde se localiza o problema é um Condomínio Industrial, onde os princípios da Manufatura Enxuta, Empreendimento Enxuto e da Movimentação Enxuta são fontes de requisitos funcionais (*FRs*) e

as Ferramentas da Manufatura Enxuta, Empreendimento Enxuto e Movimentação Enxuta são fontes de parâmetros de projeto (*DPs*) para o projeto em questão.

Os princípios e ferramentas orientam a seleção de *FRs* e *DPs* dentro da etapa do projeto axiomático e geram uma base para o sistema de logística interna a ser desenvolvido.

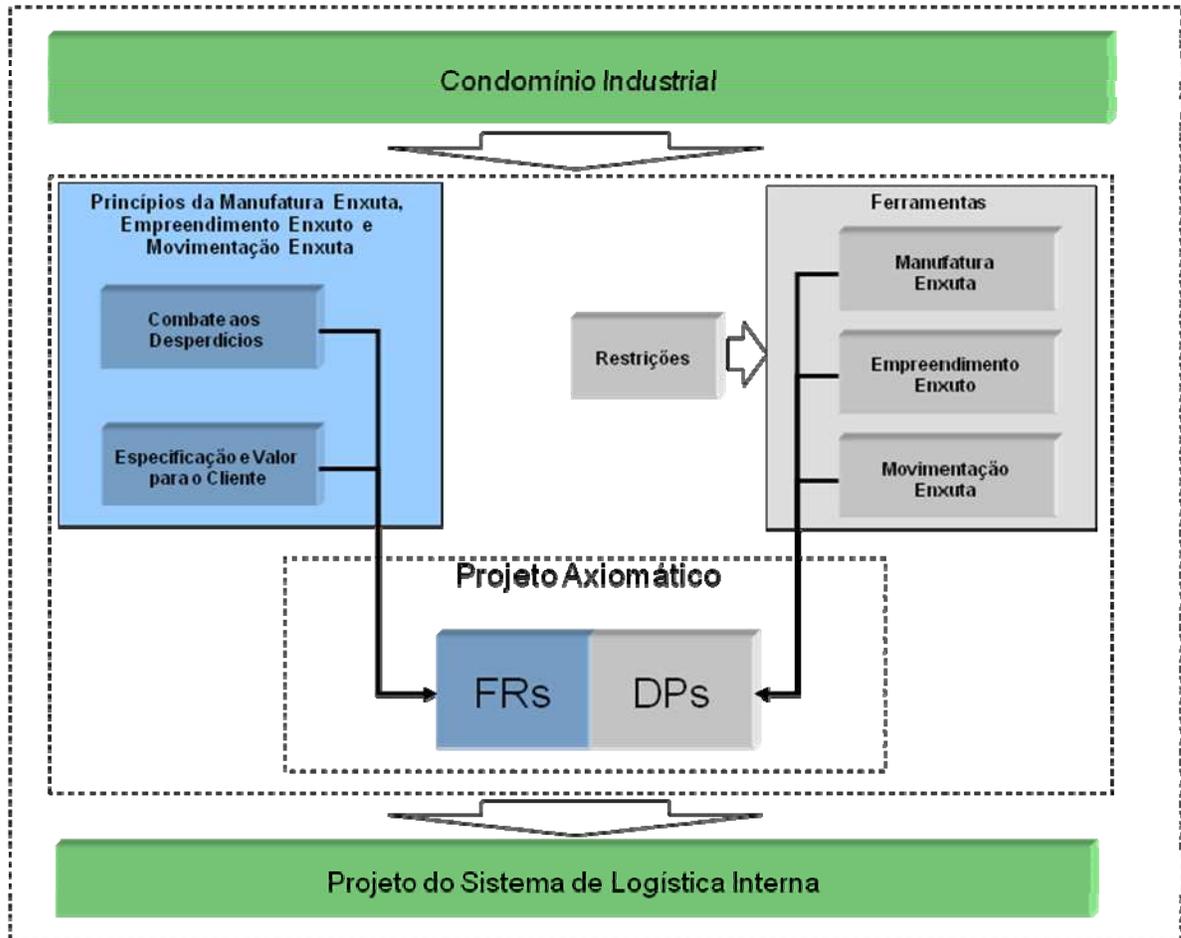


Figura 4-1: Modelo Conceitual – Sistema de Logística Interna

4.3 Método

A Figura 4-2 ilustra o método aplicado, o qual se caracteriza pelo uso de um modelo conceitual (Figura 4-1) aplicado conjuntamente a ciclo *PDCA* (*plan, do, check and act*). Dentro

de cada uma destas fases *P*, *D*, *C* e *A*, estão posicionadas as principais etapas (de 1 a 11) que serão seguidas para o desenvolvimento completo do projeto, assim descritas abaixo:

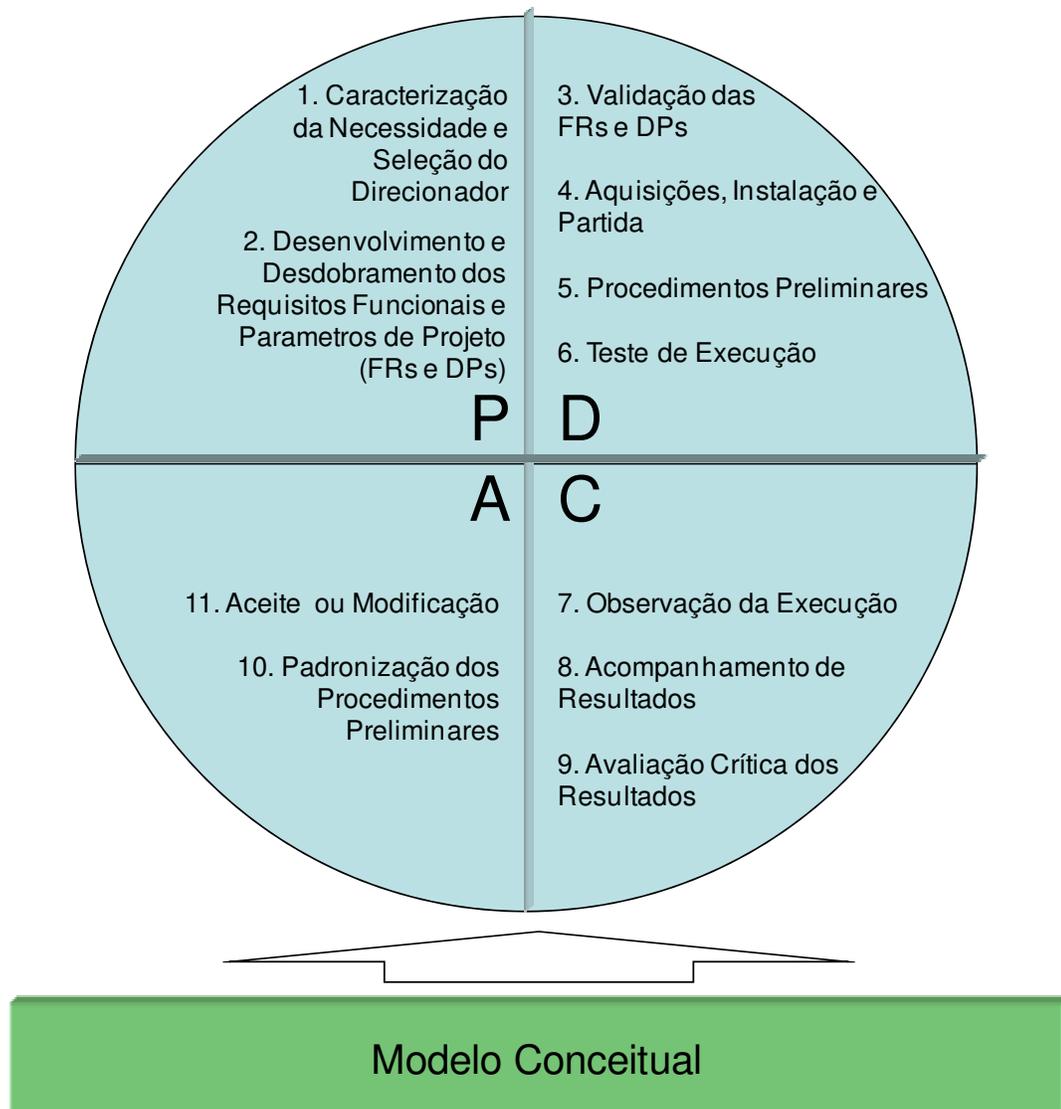


Figura 4-2: Descrição do Método

1. *Caracterização ou Desdobramento da Necessidade:* Em reuniões com o a gerência da empresa as necessidades a serem resolvidas e seus desdobramentos são relatados de forma a serem fontes de *FR*.
2. *Desenvolvimento das FRs e DPs:* É a etapa iterativa realizada pelo autor e sua equipe de projeto, onde a árvore de projeto e detalhada nível a nível até que se chegue em *DPs* que possam ser implementadas. Este processo é representado pela Figura 4-3.

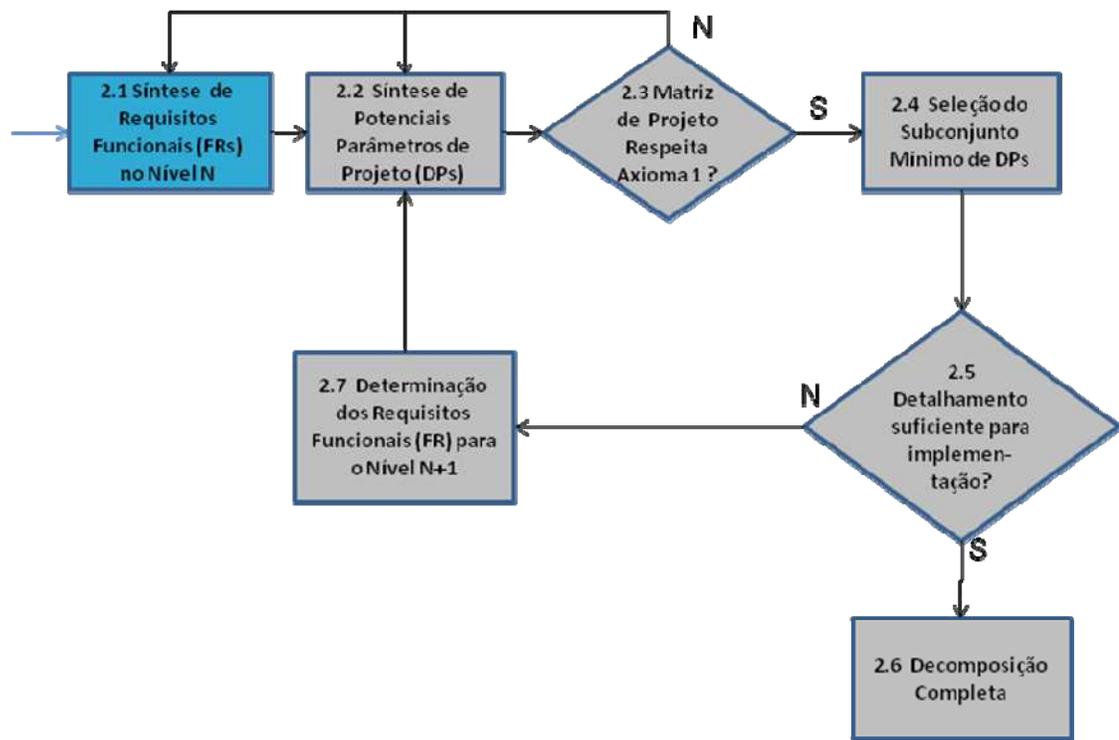


Figura 4-3: Processo de Desdobramento de *FRs* e *DPs* (Adaptado de (COCHRAN *et al.*, 2001; LINCK, 2001))

Uma vez que a decomposição está completa é possível visualizar o projeto e os subprojetos e qual serão os bloco que deverão ser implementados conjuntamente, podendo-se dar seqüência aos *PDCAs*.

3. *Validação das FRs e DPs*: É etapa as *FRs* coletadas e *DPs* desdobradas são apresentadas as como soluções propostas para cada das e confirmadas pela gerência da empresa.
4. *Aquisição, Instalação e Partida*: Etapa na qual as *DPs* se tornam objetos físicos que serão comprados ou fabricados de modo que eles possam ser operacionalizados.
5. *Procedimentos Preliminares*: Documentação mínima necessária para que os executantes das tarefas possam efetivamente operar de fato um determinado processo definido com base nas *DPs* desdobradas.

6. *Teste de Execução*: Os objetivos físicos são colocados à prova e são executados com base nos procedimentos preliminares, previamente treinados.
7. *Observação da Execução*: Etapa onde o autor e sua equipe garantem que o que foi desenhado no projeto e previsto nos procedimentos preliminares está sendo consistentemente e fielmente seguido pelos operadores.
8. *Acompanhamento de Resultados*: Momento em que o autor compara o comportamento real com o esperado e compara com os indicadores de desempenho do processo, confirmando ou não se a *DP* escolhida atende o desempenho esperado por um determinado processo. É o momento da avaliação crítica se a *DP* deve ser mantida, modificada ou descartada ou se um novo teste deve ser realizado.
9. *Aceite ou Modificação*: Etapa em que é possível estabelecer se a *DP* atende ou não a *FR* que foi definida. Nesta etapa ou se aceita, modifica ou rejeita a *DP*, gerando a necessidade de um novo ciclo *PDCA*.
10. *Padronização*: Dada a experiência e o conhecimento acumulado durante as etapas prévias, é possível complementar os procedimentos preliminares e torná-los documentos oficiais.

A estratégia de desdobramento da matriz de projeto é apresentada na Figura 4-4. Para iniciar o desdobramento, nível 0, é definido o objetivo do projeto. O desdobramento do nível 1 é realizado utilizando como direcionador “visão do processo” que a logística deve operar, isto é, utilizando uma seqüência de macro operações que deveriam ser realizadas para que o objetivo seja satisfeito. A partir do nível 2, deixa-se a “visão de processo” e passa-se para uma “visão funcional”, de modo que as próprias *DPs* de nível (n-1) são as direcionadoras principais das *FRs* de (nível n). Nas “folhas” da árvore de projeto, podem ser claramente visualizados os projetos físicos que devem ser implementados.

A mudança de direcionador “visão do processo” para a “visão funcional”, ocorre pois, se fosse cada etapa operacional fosse desdobrada separadamente, haveria muitas redundâncias de *DPs* e *FRs* na árvore, pois muitas etapas da operação se repetem em diversos processos diferentes. Outro fator, é que a “visão funcional” ainda facilita a análise dos acoplamentos. O desdobramento realizado dessa forma, nem sempre privilegia o entendimento da seqüência temporal das atividades operacionais, mas guia a árvore para um grupo de características dos objeto físicos a serem implementados.

Importante salientar que o papel do autor se concentrou neste trabalho, basicamente, nos passos 2, 3 e 4 e parcialmente de 5 e 6 do método descrito acima.

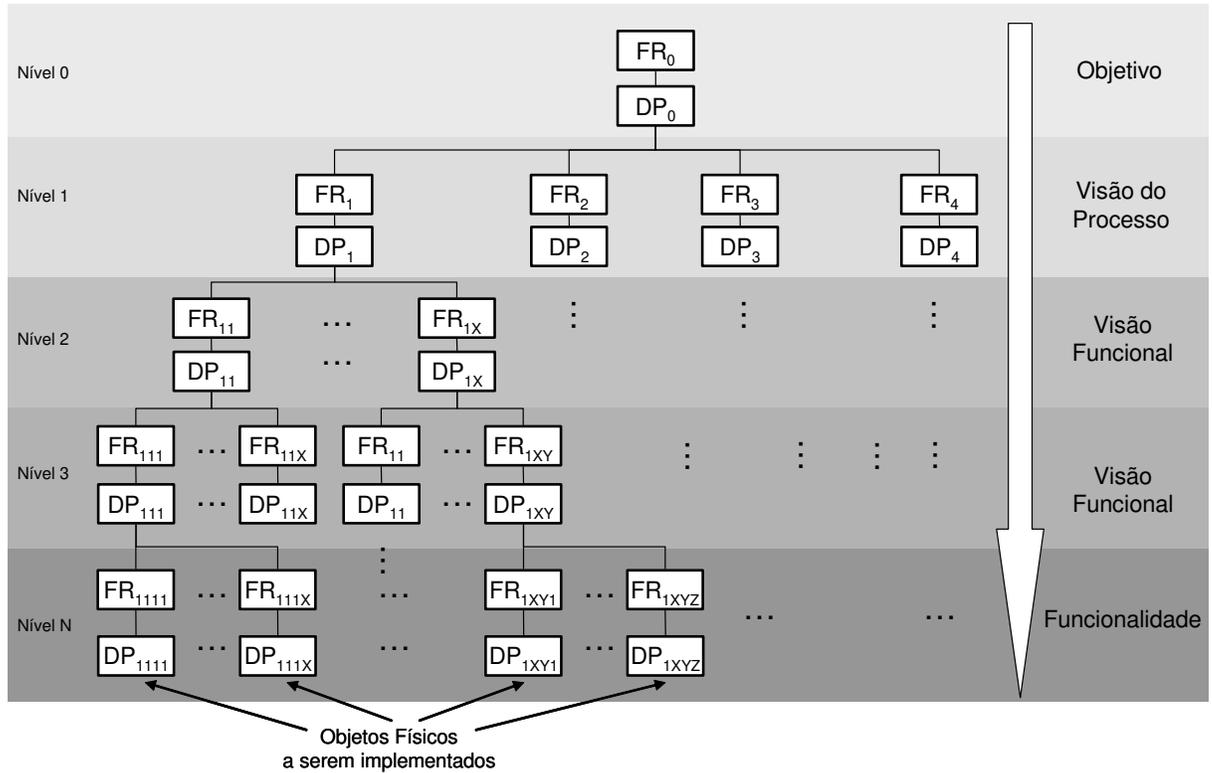


Figura 4-4: Estratégia de Desdobramento (Visão Esquemática)

4.4 Exemplo de Desdobramento e Seleção

Para fins didáticos, é apresentada em seguida uma seqüência de desdobramento de um projeto e seleção de DPs , utilizando para este fim, um saca rollhas. A finalidade de usar um objeto comum e conhecido, neste caso, é mostrar como se aplicaria o projeto axiomático, especialmente no que se refere a seu desdobramento das FRs em suas DPs e seleção das DPs que poderiam ser aplicadas.

Importante observar, durante o processo que será descrito abaixo, que o desdobramento

deriva diretamente da *DP* de nível n para uma *FR* de nível $n+1$, enquanto que a seleção de uma *DP* de nível n (para satisfazer uma *FR* de nível n) permite alguma liberdade de escolha, que é feita pelo projetista.

O objetivo de um saca rolhas, é, primordialmente, remover a rolha do gargalo de uma garrafa, e muitas vezes está implícito que este processo deve ser executado com facilidade pelo usuário do saca-rolhas. Para “Remover a rolha com facilidade” (FR_0), é preciso um Projeto de Sacarolhas (DP_0), como visto na Figura 4-5.

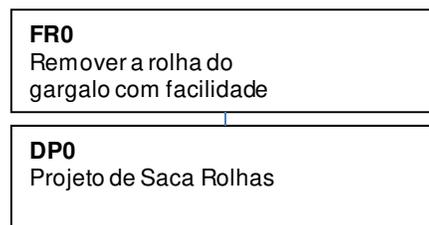


Figura 4-5: Projeto de Sacarolhas – Seleção 1

Ainda não existe detalhamento suficiente para se implementar DP_0 “Projeto de Sacarolhas”, por isso, é necessário desdobrar a *DP*, definindo o que um projeto de sacarolhas deveria compreender. Desdobra-se então a DP_0 em FR_1 e FR_2 , considerando que para satisfazer a DP_0 é necessário que seja aplicada uma força oposta superior à força que prende a rolha no gargalo (FR_1) e que o esforço percebido seja reduzido (FR_2). (Figura 4-6)

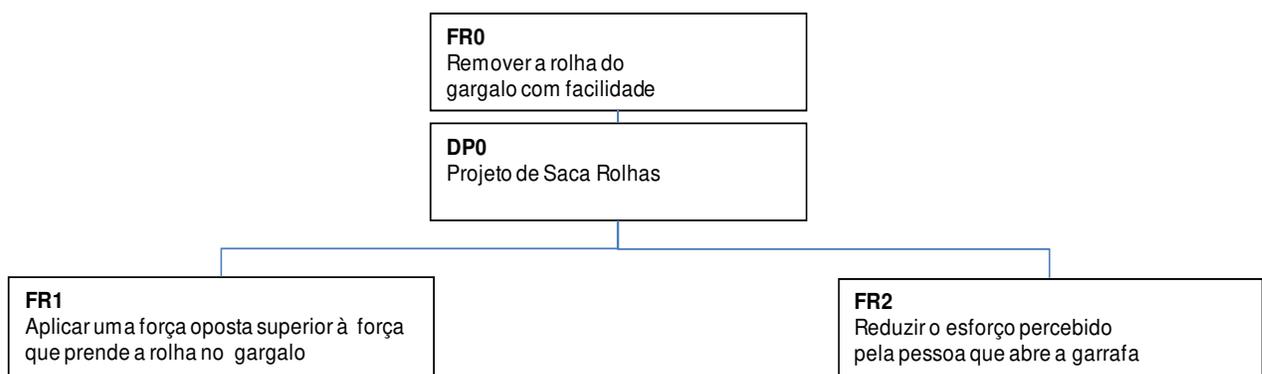


Figura 4-6: Projeto de Sacarolhas – Desdobramento 1

No entanto, FR_1 e FR_2 não respondem “como”, para isso deve selecionar *DPs* que satisfaçam a estas *FRs*. (Figura 4-7)

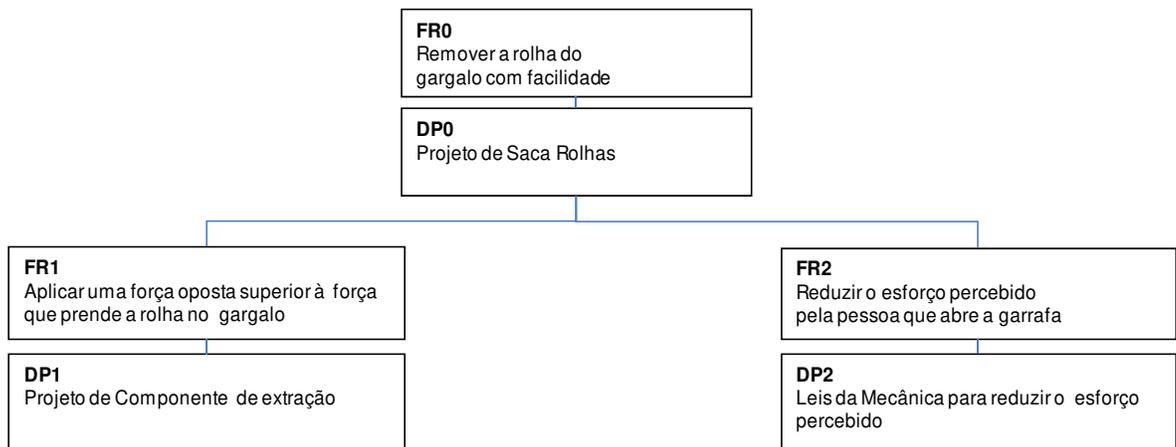


Figura 4-7: Projeto de Saca Rolhas – Seleção 2

Para que seja aplicada uma força oposta (FR_1) é necessário selecionar uma DP que possibilite que rolha seja extraída (DP_1) e para que o esforço percebido seja reduzido (FR_2), seleciona-se aplicar as Leis da Mecânica (DP_2) para que isto aconteça. Ainda não é possível visualizar como um objeto DP_1 e DP_2 podem ser implementados, então, faz-se necessário desdobrar novas FRs de nível $n+1$ a partir de DP_1 e DP_2 . (Figura 4-8)

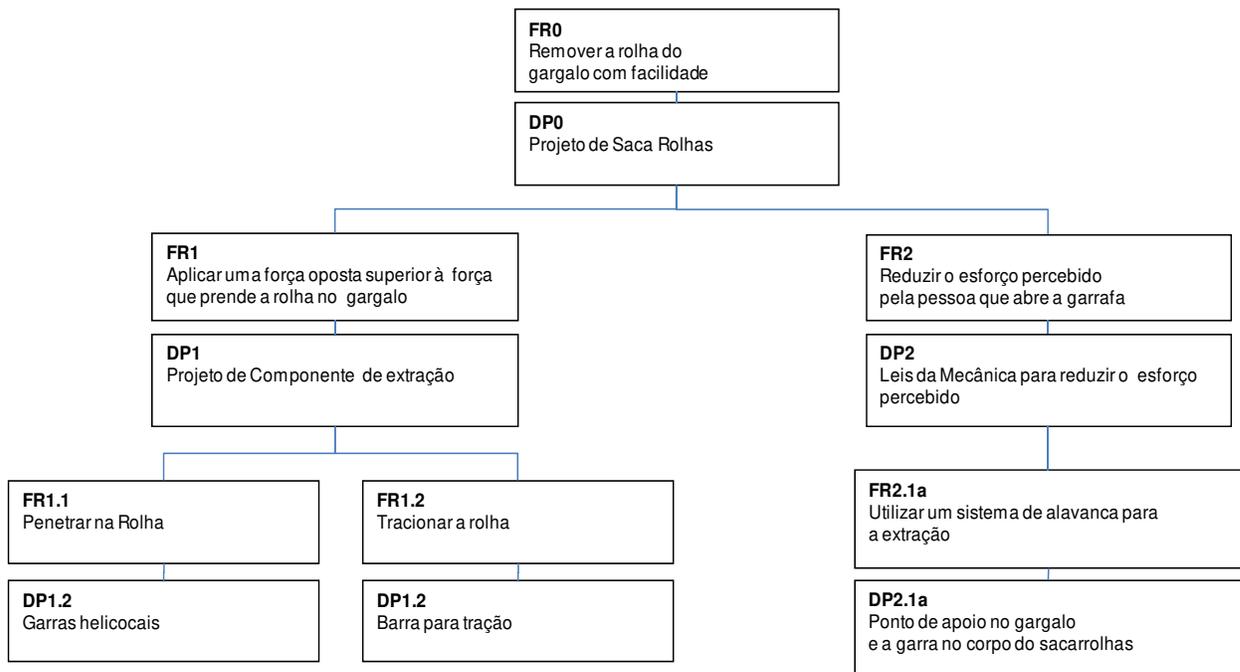


Figura 4-8: Projeto de Saca Rolhas – Desdobramento Seleção 3

Desdobra-se, então, “Componente de extração” (DP_1) em duas FR s com as funções de “Penetrar na Rolha” ($FR_{1.1}$) e com a função de “Tracionar a Rolha” ($FR_{1.2}$). Faz-se o mesmo para DP_2 e chega-se a $FR_{2.1a}$ para “Utilizar um sistema de alavanca para a extração” ($FR_{2.1a}$). Selecionando agora as DP s para $FR_{1.1}$, $FR_{1.2}$ e $FR_{2.1a}$ chega-se a “Garras Helicoidais” ($DP_{1.1}$), “Barra para Tração” ($DP_{1.2}$) e “Ponto de apoio no gargalo e garra no corpo do saca rolhas” ($DP_{2.1a}$).

Analisando-se agora as DP s do nível inferior é possível visualizar sua implementação, pois já se tem um objeto físico concreto a ser implementado. A Figura 4-9 mostra um exemplo de saca-rolhas para o desdobramento realizado acima.



Figura 4-9: Solução (1) para o saca-rolhas

Se ao invés de utilizar $FR_{2.1b}$, fosse selecionada uma FR diferente, $FR_{2.1b}$ (Figura 4-10) a solução seria diferente, conforme mostrada na Figura 4-11. Note que para a mesma DP de nível n , diferentes FR de nível $n+1$ podem ser desdobradas e diferentes DP s serem selecionadas.

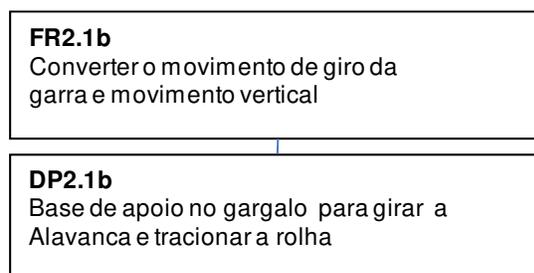


Figura 4-10: Nova FR



DP_{1.1} e *DP_{1.2}*



DP_{2.1}



Solução

Figura 4-11: Solução (2) para o saca-rolhas

5. DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO

Este capítulo mostra a descrição do problema a ser resolvido, o projeto e a implementação do sistema de logística interna em um fornecedor de autopeças em um condomínio industrial.

Seguindo o método apresentado no capítulo 4, o qual integra o modelo conceitual baseado no Projeto Axiomático e na Manufatura Enxuta, e no ciclo *PDCA*, desdobram-se os requisitos funcionais, selecionam-se os parâmetros de projeto. A implementação é mostrada através de fotos e esquemas para ilustrar o funcionamento detalhado de cada *DP*.

5.1 Descrição do Problema

Por razões de sigilo não será mencionado nem o nome da montadora nem o nome do fornecedor para quem está se desenvolvendo o sistema logístico, tampouco outros elementos que possam relacionar este desenvolvimento ao local onde ele ocorreu. Os principais atores serão tratados simplesmente como *fornecedor* e *montadora*.

A montadora produz dois modelos de veículos em uma única linha de montagem. Atua tanto no mercado interno quanto no mercado externo, exportando especialmente para América Latina e possui capacidade nominal de 250.000 veículos por ano.

Os principais fornecedores estão localizados dentro do condomínio e possuem contratos de longo prazo com exclusividade tanto para fornecimento para linha de montagem quanto para o mercado de reposição. A montadora é a responsável pela construção civil da fábrica do fornecedor, provendo as utilidades disponíveis do condomínio. O investimento produtivo (máquinas, equipamentos, ferramental) é realizado pelo fornecedor. No condomínio estão presentes fornecedores de carroceria, painel de instrumentos, tapeçaria, bancos, portas, rodas e pneus, *powertrain*, sistemas térmicos, peças plásticas de acabamento interno e externo, sistemas de vedação entre outros.

Alguns deles ficam juntos às linhas de montagem da montadora, outros possuem plantas fisicamente separadas das instalações da montadora (Veja Figura 5-1), porém localizadas dentro do condomínio. Em alguns casos, existem oportunidades cruzadas, isto é, um mesmo fornecedor pode ocupar o primeiro ou segundo nível na cadeia de suprimentos, dependendo do item que está sendo fornecido.

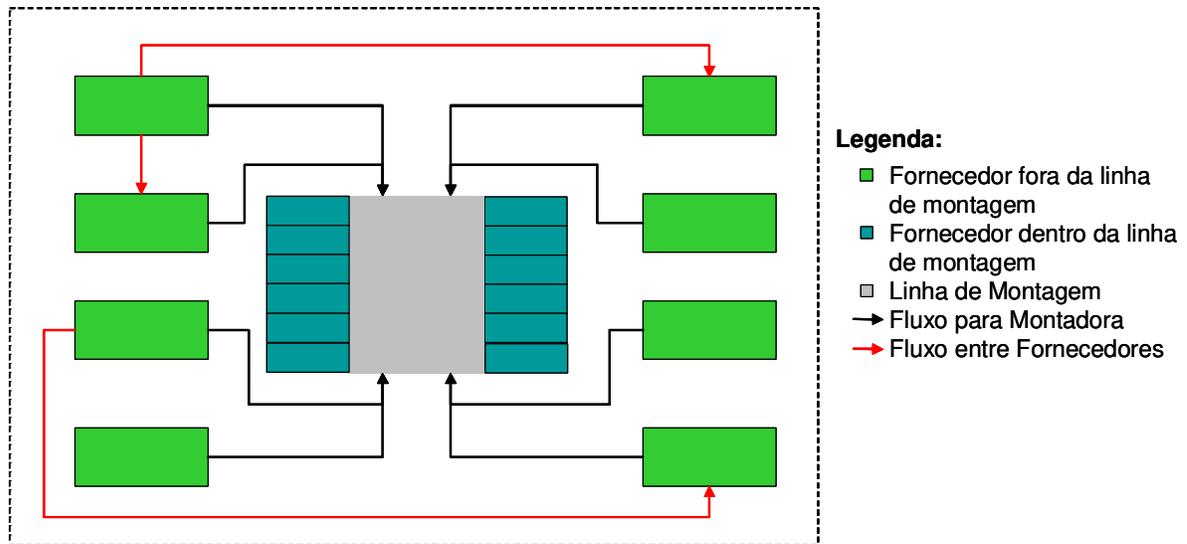


Figura 5-1: Esquema do Condomínio – Fornecedores de Primeiro Nível (Dentro do Condomínio)

A logística interna e externa é realizada por um operador logístico terceirizado (“3PL”). A logística interna faz a movimentação entre fornecedor e montadora, bem como entre fornecedores dentro do condomínio industrial. A logística externa é constituída por uma rede comum de transportadoras sob a gerência do operador logístico e é responsável pela integração do condomínio com os fornecedores fora do condomínio.

A empresa objeto do estudo é um fabricante de peças plásticas de aparência, internas e externas, pintadas e não pintadas, para os modelos de veículos. Todas as peças são produzidas dentro do condomínio para a linha de montagem e para o mercado de reposição. Componentes são comprados de fornecedores dentro e fora do condomínio. As matérias-primas (resinas, colorantes, tintas) utilizadas são adquiridas fora condomínio.

Uma característica marcante das peças produzidas pelo fornecedor em questão é o tamanho (de 60x30x15cm a 2x0,6x0,3m) e a complexidade de forma (conforme pode ser observado na

Figura 5-2). Devido a isso, só é possível armazenar uma pequena quantidade de peças por embalagem, em média 35, com embalagens comportando de 8 até 60 peças. Outra característica importante são os rápidos ciclos de consumo e produção, em torno de 30 peças a cada 90 segundos. O *mix* fabricado corresponde a cerca de 45 itens pintados e 60 itens injetados, totalizando 105 produtos, conforme mostrado pela Figura 5-3.



(A)



(B)



(C)



(D)

Figura 5-2: Exemplo de Capacidade de Peças por Embalagens

Essas características geram uma grande necessidade de armazenagem e movimentação de embalagens para a montadora e para os processos nas áreas produtivas da fábrica, representando em torno de 900 operações de carga e descarga de embalagens para o atendimento da linha de montagem e para a área de produção. São entregues por hora na linha de montagem aproximadamente 40 embalagens, e na área de produção 50 embalagens. (a diferença de 40 para

50 se deve ao fluxo interno de embalagens para os processos de produção, como por exemplo, itens semi-acabados da injeção para a pintura)

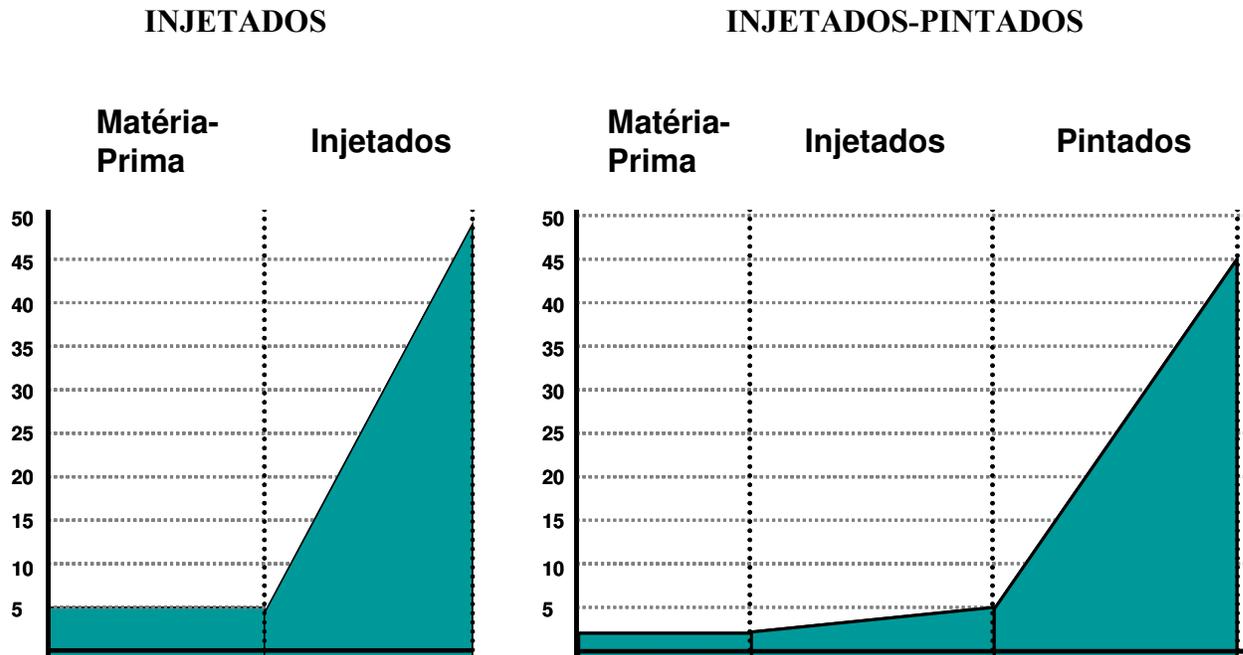


Figura 5-3: Gráfico de Funil – Comportamento da Variedade de Produtos Fabricados pelo Fornecedor

Existem dois fluxos internos de peças detalhados na Figura 5-4. Um deles é o fluxo de itens semi-acabados, ou seja, componentes para um determinado item final entregue aos clientes. O outro é o item final propriamente dito, entregue diretamente para a montadora.

O item semi-acabado é enviado para armazenagem para ser posteriormente utilizado pelo processo seguinte ou é enviado para o processo seguinte diretamente, visto que os recursos para a fabricação são compartilhados para várias peças. Pode-se citar o exemplo de uma peça chamada “Fixador do Pára-choque”, que é injetado, armazenado e posteriormente montado no pára-choque antes de ser entregue para o cliente. O fluxo de um item final é composto pela sua fabricação na área produtiva, o armazenamento e posterior envio para o cliente, conforme necessidade da linha de montagem. Além desses itens, existem os itens que devem ser seqüenciados ao serem entregues nas linhas de montagem. Um exemplo desse caso, são os pára-choques (6 itens básicos) com 8 possibilidade de cores para cada um deles.

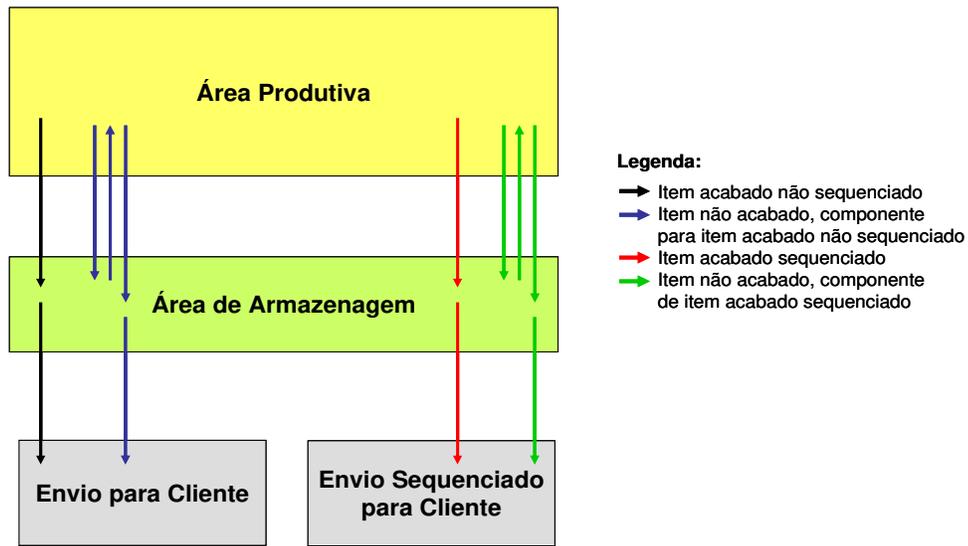


Figura 5-4: Fluxos dos Itens Fabricados pelo Fornecedor

A montadora recebe as peças a serem montadas diretamente no ponto de uso e esse transporte é de responsabilidade do fornecedor através do operador logístico, conforme mostrado na Figura 5-5. Devido a um regime fiscal especial, é possível movimentar peças entre empresas do condomínio sem a geração de notas fiscais, sendo estas consolidadas em uma única nota fiscal diária com base no volume de carros produzido pela montadora.

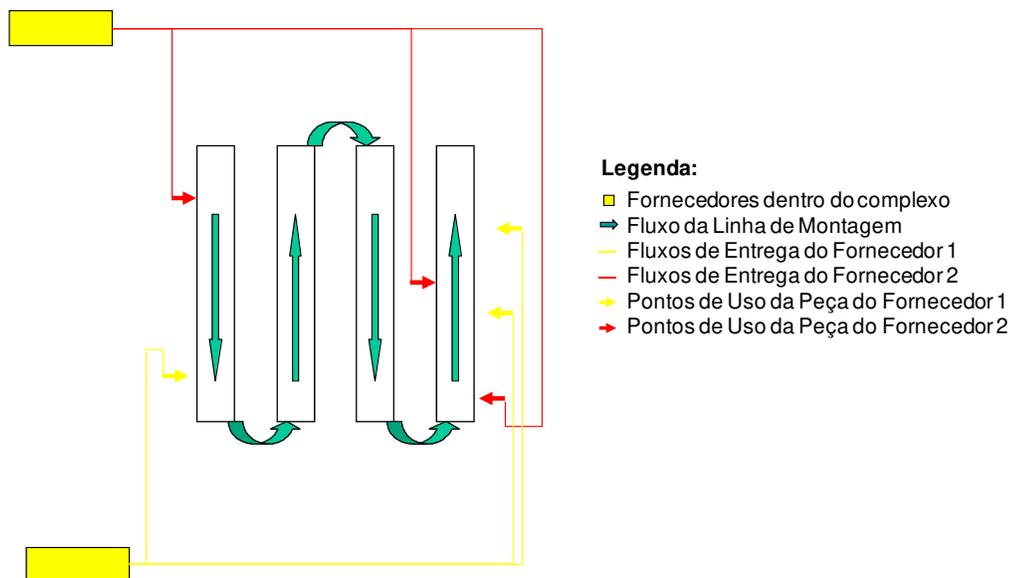


Figura 5-5: Esquema dos Fluxos de Entrega dos Fornecedores em Diversos Pontos da Linha de Montagem

Como a toda a área produtiva se dedica a um único cliente, o dimensionamento de qualquer recurso deve ser extremamente sintonizado com a demanda do cliente. Essa área foi determinada pela montadora antes do início do projeto do sistema logístico. Dessa forma, equipamentos, armazenagem, pessoal, área, entre outros, devem ser muito bem definidos para se evitar ociosidade, visto que não há oportunidade de compartilhamento da capacidade produtiva nesse condomínio.

As características descritas acima são responsáveis por uma parcela significativa dos requisitos logísticos da fábrica, os quais serão discutidos no projeto desse sistema.

Através do mapeamento do fluxo do valor (ROTHER & SHOOK, 1999), que neste caso, foi utilizado como ferramenta na fase de projeto, pode-se planejar antecipadamente o fluxo de informação e o fluxo de materiais dentro do condomínio. O mapa proporciona uma visão de planejamento das instalações do fornecedor e do condomínio, ampliando a visão de manufatura e logística a ser implementada pelo fornecedor dentro do condomínio.

A Figura 5-6 apresenta o mapa do fluxo do valor para peças injetadas. Para os fornecedores fora do condomínio existe uma política de manutenção de 3 dias de inventário em função de um sistema de planejamento de materiais (*MRP*) baseado em previsões. Para os fornecedores dentro do condomínio, a política de inventário é de apenas 2 dias com um *sistema puxado* de fornecimento.

Os itens injetados são montados e, posteriormente, armazenados em um supermercado de produtos acabados, os quais são enviados para os clientes através de um pátio onde essas peças são disponibilizadas para posterior envio *JIT* para o cliente.

A Figura 5-7 apresenta o mapa de fluxo do valor para peças pintadas. A política de inventário é similar para esses itens, porém com uma maior variedade de modelos, pois existem peças de todas as cores disponíveis e ainda podem ser adicionados opcionais, como faróis de neblina ou grade pintada na cor do veículo.

Esses itens possuem um processo adicional, pois são pré-montados e seqüenciados. Percorrendo o fluxo de materiais, tem-se uma entrega baseada na lista de seqüenciamento emitida pela montadora para o fornecedor. O fornecedor faz as pré-montagens e entrega as peças conforme uma lista de montagem e entrega diretamente na linha de montagem *just-in-sequence* (*JIS*). Conforme se dá o consumo na linha, novos itens seqüenciados são recolocados no ponto de

montagem. Da mesma forma, logo que os itens do supermercado para pré-montagem vão sendo consumidos, a linha de pintura repõe esses produtos.

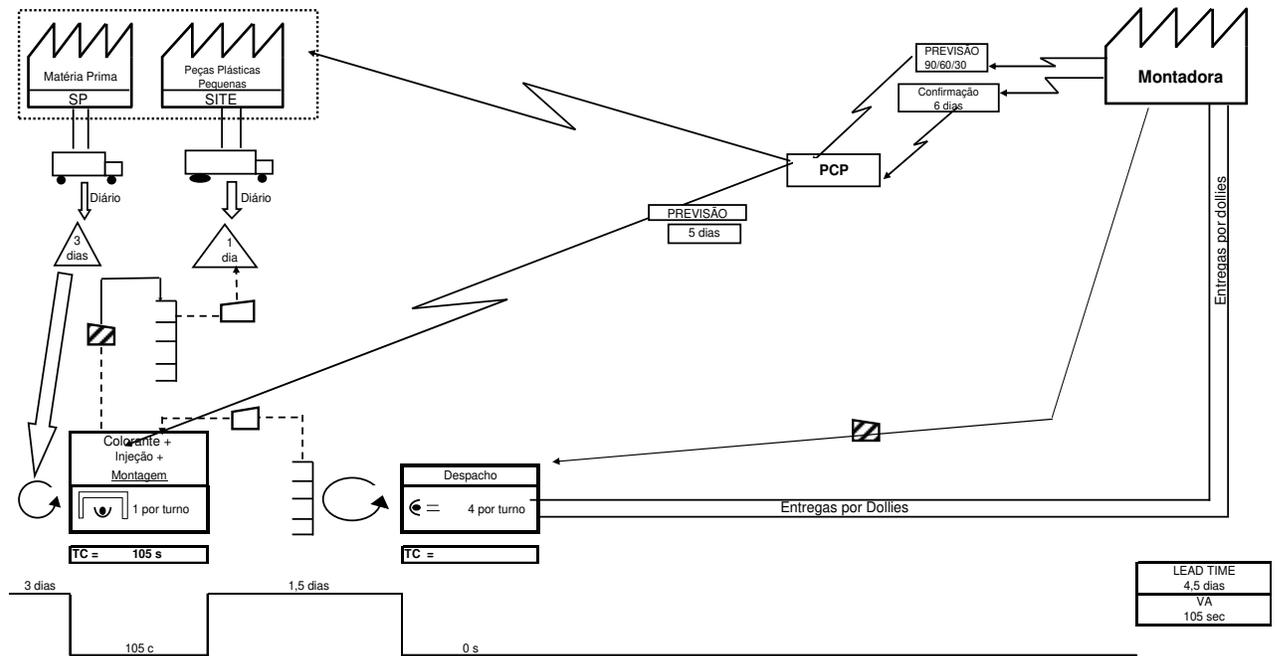


Figura 5-6: Mapa do Fluxo do Valor dentro do Condomínio – Peças Injetadas

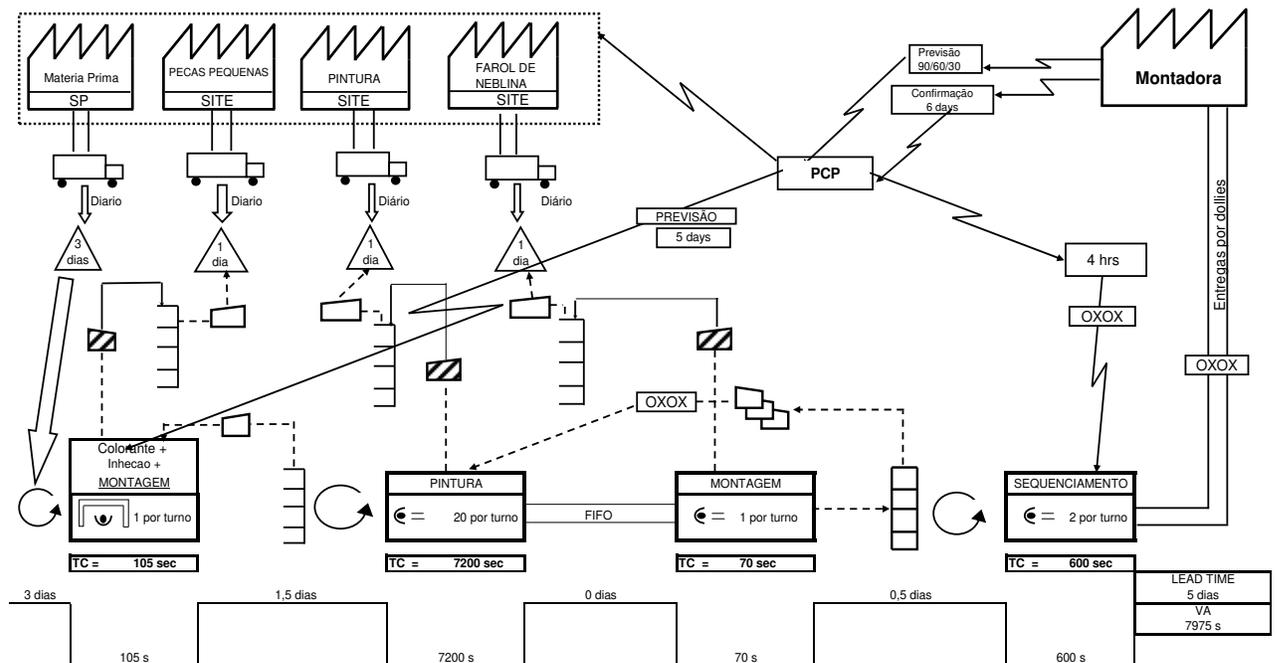


Figura 5-7: Mapa do Fluxo do Valor dentro do Condomínio – Peças Pintadas

5.2 Desenvolvimento

O primeiro passo para entender o contexto do problema é reconhecer o ambiente onde o problema deve ser resolvido, neste caso, o condomínio industrial (Figura 5-8). Neste condomínio, existe uma compressão das atividades principais da cadeia produtiva, incluindo aqui o fornecedor em questão, mas não ocorre a compressão total, isto é, apenas os fornecedores considerados pela montadora como fornecedores-chave possuem operações dentro do condomínio.

Utilizando o método descrito no Capítulo 4, apresentam-se as *FRs* e *DPs* iniciais, desdobrando-as nível a nível, isto é, seu desdobramento de *FR e DP* em *FRs e DPs* de nível 1, isto é, FR_n e DP_n . Nas seções subseqüentes, todas as FR_n e DP_n , são desdobradas em *FRs* e *DPs* de nível 2, isto é, FR_{nm} e DP_{nm} , e assim por diante. A implementação, caso ocorra, é descrita na mesma seção em que o detalhamento suficiente da *DP* é encontrado. A árvore de projeto final é mostrada na Figura 5-48.

No capítulo seguinte, os resultados são mostrados através de indicadores o desempenho de entrega do *fornecedor* operando dentro do sistema de logística desenvolvido. Esse dado é oficial e proveniente da própria montadora.

Seguindo a recomendação de SUH (1990, 1998), *Axioma da Independência* deve ser respeitado e a simplicidade deve ser buscada (WON *et al.*, 2001; SUH, 1990 & 1998) tanto nas *DPs* em si, quanto nas *FRs* que se deseja satisfazer, atingindo assim os objetivos do projeto.

Como o projeto de sistema de manufatura não possui equações matemáticas exatas, o seu desenvolvimento é realizado com base em um modelo conceitual, utilizando uma análise qualitativa. Muitas das soluções são soluções-hipótese, contudo, com embasamento teórico e conhecimento prático do problema. A confirmação real da *DP* e do resultado do projeto só pode ser verificado testando e medindo o desempenho operacional dia-a-dia.

O modelo conceitual (Figura 4-1) é composto, genericamente, pelos Princípios da Manufatura Enxuta, do Empreendimento Enxuto e da Movimentação Enxuta - uma das fontes de requisitos funcionais (*FRs*) - e, ainda, pelas Ferramentas da Manufatura Enxuta, do Empreendimento Enxuto e da Movimentação Enxuta - uma das fontes de parâmetros de projeto

(*DPs*). Vale lembrar que o processo de decomposição (*zag*) também é um gerador de *FRs* de nível inferior.

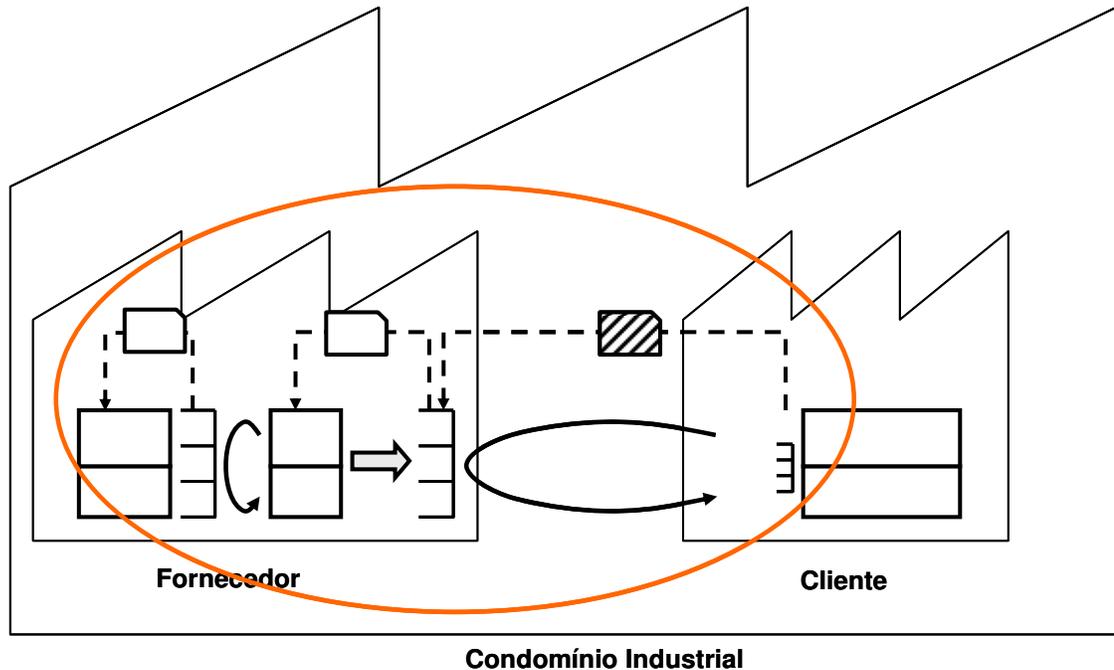


Figura 5-8: Representação Esquemática – Condomínio Industrial

No processo de *zig*, ou seja, sair do domínio conceitual e ir ao domínio físico, podemos nos deparar ou com uma *DP* conceitual, vinculada à realidade do problema, ou com as ferramentas possíveis de serem utilizadas para satisfazer essas *FRs*. Esse leque de ferramentas é proveniente da Mentalidade Enxuta, Empreendimento Enxuto ou da Movimentação Enxuta.

Há também que reconhecer que em problemas conceituais, o conhecimento está disperso e então, grupos de pessoas foram chamados para discutir e também gerar as *FRs* e *DPs* com guia do pesquisador, descrita a seguir. Nessa etapa, a separação clara entre “o que se deseja fazer” e “como será realizado” apresenta uma vantagem muito grande do projeto axiomático.

Em todas as etapas houve a participação do gerente de logística. No entanto, a pouca experiência das pessoas da empresa no segmento automotivo e especialmente em relação a

abordagem Enxuta, gerou papéis que foram muito mais colaborativos do que decisórios durante a fase de projeto. Dessa forma, o papel do pesquisador foi ainda mais abrangente.

No desenvolvimento dos níveis mais conceituais, isto é, níveis mais superiores da árvore de projeto, houve maior presença da média gerência e da gerência de logística. Em processos na parte mais inferior da árvore de projeto, os níveis mais operacionais foram mais consultados. As reuniões basicamente aconteceram para entender o processo produtivo e como definir sua relação com os processos logísticos. Houve pouca participação das pessoas da empresa na definição das *DPs* de mais baixo nível. No entanto, essas *DPs* e seu funcionamento eram validados pelos responsáveis e técnicos das áreas relacionadas.

Nos processos em que existia interface com áreas produtivas (pintura e injeção), os gerentes responsáveis e um técnico participaram do projeto. Nos processos logísticos (armazenagem e movimentação) o operador logístico terceirizado não participou da fase de projeto, mas participou de ajustes após a implementação. Seguiu-se, portanto, as afirmações de COCHRAN *et al.* (2001): (1) os sistemas de manufatura são difíceis de serem compreendidos em seu todo, requerendo uma abordagem multidisciplinar e (2) as “escolhas” que o projetista tem que fazer estão sempre relacionadas a algum modelo conceitual, já citado.

5.2.1 Estudo do Primeiro Nível

O requisito funcional inicial pode ser descrito como *Operar Logística Interna de um Fornecedor em um Condomínio Industrial* (FR_0) e é obtida diretamente do objetivo inicial do projeto. Esta *FR* deve ser solucionada através de um *Sistema de Logística Interna Just-in-Time* (DP_0). A DP_0 é uma *DP* conceitual e não apresenta detalhes suficientes para sua implementação, dessa forma um processo de desdobramento (*zag*) de DP_0 faz-se necessário.

Para realizar esse desdobramento recorre-se a seqüência operacional que será necessária para satisfazer FR_0 (Figura 5-9) com um direcionador inicial (*driver*). A seqüência lógica temporal da operação é: (1) programar a produção, (2) produzir as peças, (3) transportar

embalagens para armazenagem, (4) armazenar as embalagens, e finalmente, (5) transportar para o cliente, quando o mesmo solicitar.

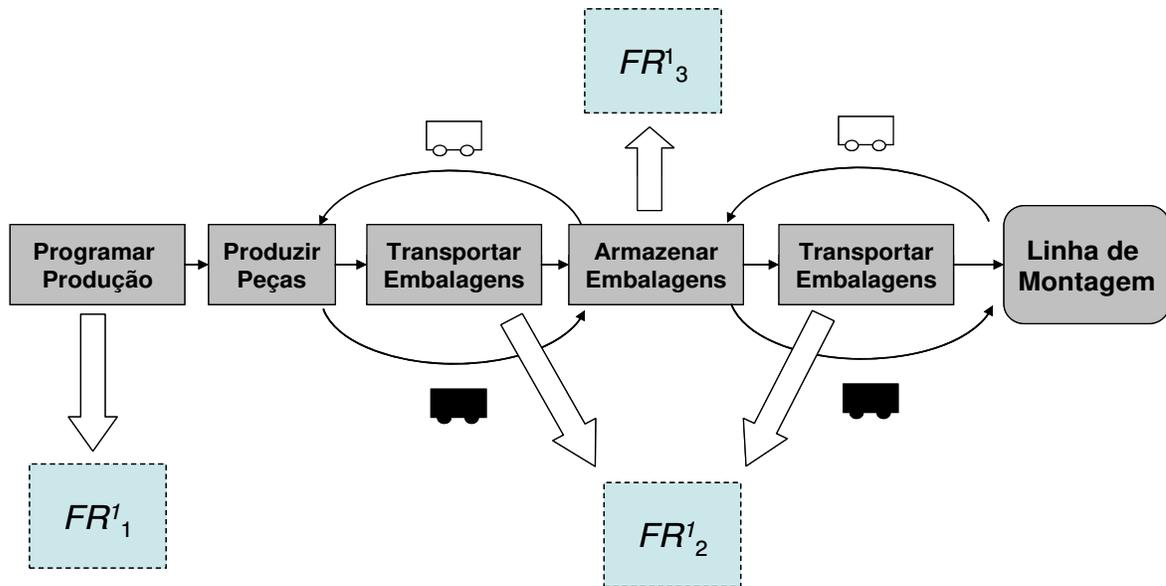


Figura 5-9: Seqüência Operacional e FR de nível 1

Como produzir peças não é uma função logística (BAUDIN, 2004), as FRs resultantes são escritas como: *Programar Produção da Fábrica* (FR^1_1), *Movimentar Embalagens para Clientes* (FR^1_2) e *Armazenar Produção da Fábrica* (FR^1_3). Inicia-se então o processo zig, ir do domínio funcional para o domínio físico na busca de DPs.

Considerando que as peças terão um consumo irregular (principalmente no *mix*), são produzidas recursos compartilhados, existem várias operações de produção em seqüência e que as peças devem atender diretamente a linha de montagem e em duas fábricas em processo de instalação, há a necessidade de *Programar Produção da Fábrica* (FR^1_1). Devido a essas dificuldades, um *Sistema de Programação da Produção* (DP^1_1) deve ser desenvolvido garantindo a disponibilidade de peças acabadas para o cliente, seguindo um princípio *Lean*, produzindo na hora certa e na quantidade correta.

Movimentar Embalagens para Clientes (FR^1_2) faz-se necessário por dois motivos, o primeiro é uma exigência do cliente que a responsabilidade pela entrega na linha de montagem seja do fornecedor, e o segundo, é que o fluxo interno da fábrica precisa utilizar um sistema para enviar embalagens cheias a serem armazenadas e receber embalagens vazias, de modo que as

máquinas trabalhem em um regime sem interrupções que levariam à perda de produtividade e a rejeitos. Assim, escolhe-se *Sistema de Movimentação* (DP^l_2).

A característica de uma fábrica de injeção é a produção em lotes. Dessa forma, o fluxo contínuo e unitário é impossível de ser implementado, em função da característica contínua do processo produtivo de injeção, com tempos de ciclo independente do ritmo da demanda e *setups* não desprezíveis. Dessa forma, faz-se necessário *Armazenar Produção da Fábrica* (FR^l_3) em algum local, referido aqui como *Supermercado* (DP^l_3), evidentemente, de maneira controlada.

Dessa forma as FR^l s podem ser resumidas em:

FR^l_1 : *Programar Produção da Fábrica*

FR^l_2 : *Movimentar Embalagens para Clientes*

FR^l_3 : *Armazenar Produção da Fábrica*

As DPs correspondentes são:

DP^l_1 : *Sistema de Programação da Produção*

DP^l_2 : *Sistema de Movimentação*

DP^l_3 : *Supermercado*

Uma vez que *Supermercado* (DP^l_3) e *Sistema de Movimentação* (DP^l_2) operam independente da *Programação da Produção*, pois, é o ritmo da produção é quem dita a operação do supermercado e da movimentação, não existe, portanto, dependência entre DP^l_1 com outras DPs na linha FR^l_1 , visto que os sinais para a movimentação e para armazenagem não serão gerados pelo *Sistema de Programação da Produção* (DP^l_1). Mesmo durante *setups* na fábrica¹³, onde pode haver uma mudança das embalagens, o *Sistema de Movimentação* (DP^l_2) e o *Supermercado* (DP^l_3) não sentem nenhum acoplamento, pois, no caso desse fornecedor em específico, os tempos de setup são bem maiores que os tempos das rotas de entregas. Então FR^l_1 somente é dependente de DP^l_1 .

No entanto, a movimentação de materiais e o supermercado são totalmente dependentes. Antes de qualquer análise, precisa-se considerar, primeiramente, que o supermercado deve prover acesso tanto embalagens com peças para o cliente quanto embalagens vazias para as áreas

¹³ Não existem setups na linha de montagem do cliente

produtivas. Segundo, que o *Sistema de Movimentação* (DP^1_2) deve movimentar embalagens vazias para a fábrica e também as embalagens cheias para os clientes, o mais rápido possível, pois a quantidade de embalagens (*buffers*) nos PDUs são muito reduzidos. Essa é uma característica tanto da fábrica quanto da linha de montagem do cliente.

Para que *Supermercado* (DP^1_3) seja acionado, é preciso primeiro que o *Sistema de Movimentação* (DP^1_2) o solicite. Isso requer que as embalagens que retornam dos clientes sejam a informação para a operação colocar e retirar embalagens do supermercado, e, isso obriga que a movimentação aguarde a formação dos grupos de embalagens a serem enviadas pelo sistema de movimentação. Dessa forma, *Movimentar Embalagens para Clientes* (FR^1_2), *Sistema de Movimentação* (DP^1_2) e *Supermercado* (DP^1_3) interagem. A recíproca também é verdadeira, pois para *Armazenar Produção da Fábrica* (FR^1_2) as embalagens devem ser acessadas no *Supermercado* (DP^1_3) anteriormente disponibilizadas para *Sistema de Movimentação* (DP^1_2). Dessa forma, na linha, FR^1_3 , DP^1_2 e DP^1_3 interagem.

Em resumo, os recursos da *movimentação* e da *armazenagem* não podem ser otimizados de maneira independente e as operações não podem ser executadas em paralelo, evidenciando assim um acoplamento.

A equação e a matriz de projeto são definidas como:

$$\begin{Bmatrix} FR^1_1 \\ FR^1_2 \\ FR^1_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ 0 & X & X \\ 0 & X & X \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} DP^1_1 \\ DP^1_2 \\ DP^1_3 \end{Bmatrix}$$

Conforme pode ser observado, a matriz de projeto é acoplada e, portanto, não satisfaz o axioma da independência. Desse modo, outra solução de projeto deve ser investigada. Uma das maneiras de desacoplar o sistema é adicionar uma nova *FR* e *DP* (Corolário 1) e estudar a nova configuração do sistema (SUH, 1998). Analisando novamente a seqüência operacional, verifica-se que a nova *FR* deve ser desenvolvida entre a armazenagem e a movimentação, de modo que ambas possam operar paralelamente. (Figura 5-10)

À esse novo sistema é introduzido uma área de conexão entre o *Supermercado* e a *Movimentação de Embalagens* para os clientes, visando tornar o sistema desacoplado. Considerando que o tempo de *buffer* no cliente e na fábrica são baixos, é importante a preparação

antecipada dos futuros carregamentos, principalmente para o cliente que estará consumindo muitas peças ao mesmo tempo na linha de montagem.

Adicionando um novo requisito funcional, *Preparar Composição da Próxima Entrega* (FR^2_4), e seu parâmetro de projeto *Pátio de Manobras* (DP^2_4) é necessário avaliar a nova matriz de projeto.

A função do *Pátio de Manobras* é propiciar uma área de conexão entre o supermercado e o ponto de uso das embalagens, funcionando como um *buffer* para suportar alguma variação na movimentação, redução do tempo de entrega ao cliente, bem como sistematizar a movimentação de embalagens para a estrutura de armazenagem e a movimentação de embalagens da estrutura propriamente dita. Cria-se uma área onde as embalagens, sejam elas cheias ou vazias, serão disponibilizadas com antecedência e “puxadas” do sistema de armazenagem, permitindo atividades em paralelo e desacoplando o *Armazenar Produção da Fábrica* (FR^2_3) de *Movimentar Embalagens para Clientes* (FR^2_2) e vice-versa.

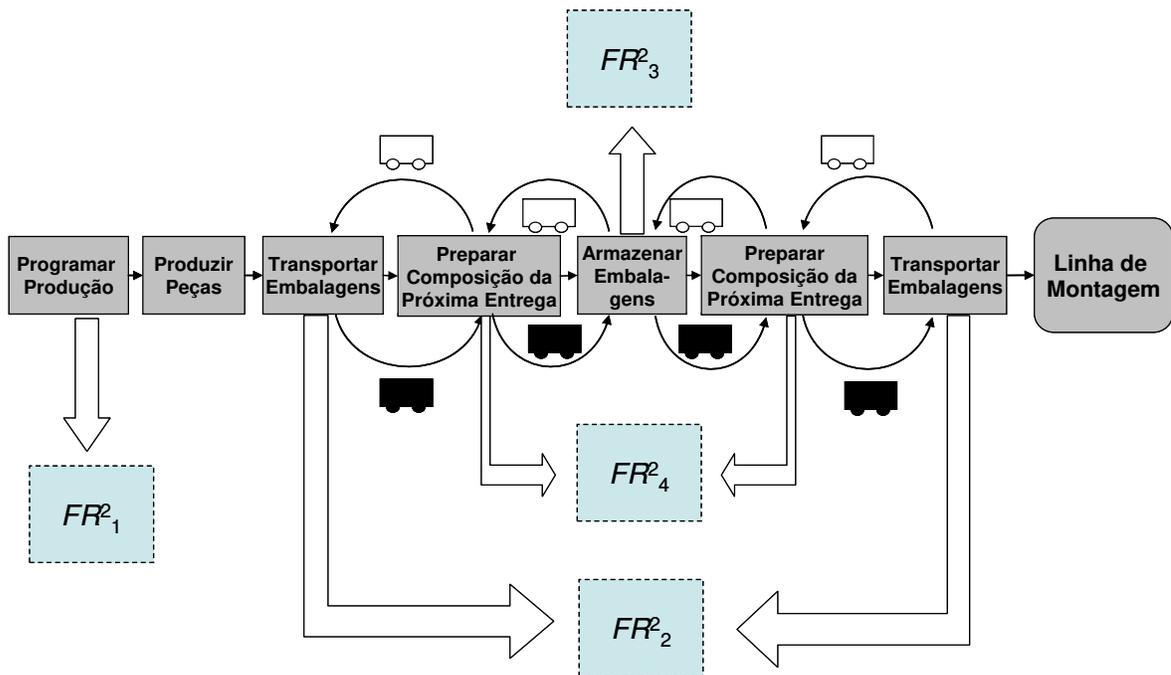


Figura 5-10: Seqüência Operacional e FR de nível 1 para Desacoplamento

Dessa forma, a linha de FR^2_3 depende somente de DP^2_3 e a linha de FR^2_2 depende somente de DP^2_2 . *Programar a Produção da Fábrica* (DP^2_1) permanece independente das outras

DPs , só dependendo do *Sistema de Programação* (FR^2_1), visto que o pátio de manobras só se relaciona diretamente com a movimentação (DP^2_3) e armazenagem de materiais (DP^2_2).

O novo conjunto de FR^2s é dado por:

FR^2_1 : Programar Produção da Fábrica

FR^2_2 : Armazenar Produção da Fábrica

FR^2_3 : Movimentar Embalagens para Clientes

FR^2_4 : Preparar Composição da Próxima Entrega

As DPs correspondentes são:

DP^2_1 : Sistema de Programação da Produção

DP^2_2 : Sistema de Movimentação

DP^2_3 : Supermercado

DP^2_4 : Pátio de Manobras

$$\begin{Bmatrix} FR^2_1 \\ FR^2_2 \\ FR^2_3 \\ FR^2_4 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 & 0 \\ 0 & 0 & X & 0 \\ 0 & X & X & X \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} DP^2_1 \\ DP^2_2 \\ DP^2_3 \\ DP^2_4 \end{Bmatrix}$$

Reordenando as equações, de modo que a matriz seja uma matriz triangular superior, o novo conjunto de FRs definitivo é dado por:

FR_1 : Preparar Composição da Próxima Entrega

FR_2 : Armazenar Produção da Fábrica

FR_3 : Movimentar Embalagens para Clientes

FR_4 : Programar Produção da Fábrica

As DPs definitivas correspondentes são:

DP_1 : Pátio de Manobras

DP_2 : Supermercado

DP_3 : Sistema de Movimentação

*DP*₄: Sistema de Programação da Produção

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \\ FR_3 \\ FR_4 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & X & X & 0 \\ 0 & X & 0 & 0 \\ 0 & 0 & X & 0 \\ 0 & 0 & 0 & X \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \\ DP_3 \\ DP_4 \end{Bmatrix}$$

Observando as *DPs* levantadas, ainda não se tem um detalhamento suficiente para a implementação, sendo assim, um novo processo de decomposição (*zag*) será necessário.

5.2.2 Estudo do Segundo Nível

***FR*₁: Preparar Composição da Próxima Entrega**

***DP*₁: Pátio de Manobras**

Uma vez de *DP*₁ ainda não possui detalhamento suficiente, é necessário fazer o processo de *zag*, de modo que *DP*₁ gere *FRs* de nível 1X. Devido a uma questão de fluxo para clientes e fluxo para fábrica serem totalmente independentes e com processos de atendimento diferentes, faz-se a opção por manter duas áreas distintas para o atendimento a clientes, uma para *Conectar Fábrica ao Supermercado* (*FR*₁₁) e outra para *Conectar Supermercado a Clientes* (*FR*₁₂). Adicionando, como a função do *Pátio de Manobras* é desacoplar a armazenagem da movimentação através da preparação antecipada da embalagem, é necessário que possa *Decidir a Embalagem a ser Reposta* (*FR*₁₃) nesse local.

Em resumo, as *FRs* desdobradas de *DP*₁ são:

*FR*₁₁: *Conectar Fábrica ao Supermercado*

*FR*₁₂: *Conectar Supermercado a Clientes*

*FR*₁₃: *Decidir Embalagem a ser Reposta*

Em condomínios industriais, o fluxo de entregas é muito intenso. Porém, não se pode transportar grandes lotes de peças aos clientes devido à limitação de espaço na linha de

montagem¹⁴, que atende aos vários modelos de veículos. É necessário então que uma área seja utilizada para disponibilizar ao *Sistema de Movimentação (DP₃)* as embalagens que serão entregues aos clientes. Existem dois clientes a serem atendidos e operando com lógicas invertidas. O primeiro é o cliente que consome o produto final e que requisita embalagens com peças na linha de montagem. O segundo cliente é a produção, que requisita embalagens vazias disponíveis nos processos produtivos para que os mesmos mantenham um ritmo contínuo de produção, uma vez que se pode causar perda de produtividade, rejeitos ou desperdícios de manuseio se as embalagens não estiverem na hora certa no local correto. Dado o contexto do nível anterior, é natural, deva existir um local para a preparação da entrega das embalagens a serem enviadas. Dessa forma, *DP₁₁* e *DP₁₂* são definidas como *Pátio de Manobras para Fábrica* e *Pátio de Manobras para Clientes*, respectivamente.

Porém, para se preparar antecipadamente qual embalagem será enviada é necessária a visualização de embalagem vazia que retornou do cliente na rota anterior, informando assim que é essa a embalagem da peça que deve ser retirada do supermercado. Essa decisão ser repostada deve ser rápida e simples. Como estão sendo utilizadas embalagens dedicadas, é natural que a própria embalagem seja o sinal para a reposição (*kanban* de retirada), desde que devidamente identificada para que o processo de substituição possa acontecer. Assim, defini-se *Identificação Visual na Embalagem a ser Substituída (DP₁₃)*.

Dessa forma, as *DPs* podem ser definidas como:

DP₁₁: Pátio de Manobras para Fábrica

DP₁₂: Pátio de Manobras para Clientes

DP₁₃: Identificação Visual na Embalagem a ser Substituída

Uma vez que o *Pátio de Manobras para Fábrica (DP₁₂)* e o *Pátio de Manobras para Clientes (DP₁₂)* estão em áreas distintas, conectadas a processos distintos e utilizando recursos distintos, pode-se concluir que eles não possuem dependência entre si, ou seja, a linha *FR₁₁* só depende de *DP₁₁* e que *FR₁₂* depende apenas de *DP₁₂*. A identificação visual na embalagem é

¹⁴ ROTHER & HARRIS (2001) afirmam que a embalagem deve ser dimensionada para a conveniência da produção ou do cliente. No entanto isso pode causar algumas implicações na movimentação de material, como a necessidade de um fluxo de entregas intenso.

uma característica que não interfere no projeto ou na operação do pátio de manobras e, portanto, DP_{13} é exclusivamente dependente de F_{13} .

A equação e a matriz de projeto é então definida como:

$$\begin{Bmatrix} FR_{11} \\ FR_{12} \\ FR_{13} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & 0 \\ 0 & X & 0 \\ 0 & 0 & X \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} DP_{11} \\ DP_{12} \\ DP_{13} \end{Bmatrix}$$

A matriz de projeto é não acoplada, assim, satisfaz o axioma da independência. Observando as DPs levantadas, ainda não se tem um detalhamento suficiente para a implementação, sendo assim um novo processo de decomposição (*zag*) será necessário.

O *layout* esquemático da fábrica para implementar as DP_{11} , DP_{12} e DP_{13} é apresentado na Figura 5-11.

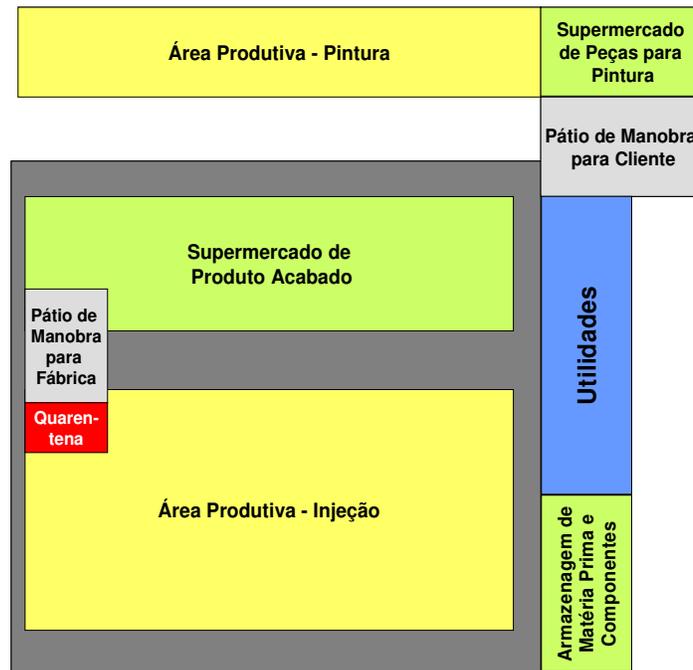


Figura 5-11: Layout Instalações para Satisfazer DPs 11,12 e 13

FR_2 : Armazenar Produção da Fábrica.

DP_2 : Supermercado

Analisando DP_2 , não é possível identificar detalhes suficientes para a sua implementação, então, um processo de *zag* deve ser realizado. A decomposição é feita desdobrando DP_2 em FRs de nível 2X.

Fisicamente, um *Supermercado* (DP_2) é o local onde as embalagens com produtos devem ser armazenadas e disponíveis para os clientes internos e externos. Dessa forma, é intuitivo que a seqüência operacional *Armazenar Peças* (FR_{21}) e *Armazenar Embalagens* (FR_{22}) sejam os requisitos funcionais.

Para *Armazenar Embalagens* (FR_{22}) escolhe-se utilizar uma *Estrutura de Armazenagem* (DP_{22}) pois, cálculos preliminares dos *kanbans* indicaram uma grande quantidade de embalagens e espaço para armazenar até 2 dias de produção, conforme regra do condomínio.

Em resumo, desdobrando DP_2 , escolhe-se:

FR_{21} : *Armazenar Peças*

FR_{22} : *Armazenar Embalagens*

As DPs correspondentes são:

DP_{21} : *Embalagem*

DP_{22} : *Estrutura de Armazenagem*

Como qualquer atividade para a operação com *Embalagem* (Figura 5-12) ou para *Estrutura de Armazenagem* (Figura 5-13) são realizadas por recursos diferentes e podem ser realizadas em paralelo, não existe dependência entre DP_{22} em FR_{21} , tampouco de DP_{21} em FR_{22} . Devido às características dimensionais (complexidade de forma, tamanho) das peças do fornecedor, as embalagens são feitas sob medida e são exclusivas para cada peça. A armazenagem de embalagens será feita em uma estrutura de armazenagem, a qual será detalhada nos itens subseqüentes.

A equação e a matriz de projeto resultante é:

$$\begin{Bmatrix} FR_{21} \\ FR_{22} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 \\ 0 & X \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} DP_{21} \\ DP_{22} \end{Bmatrix}$$

A matriz de projeto é não acoplada, dessa maneira, pode-se assegurar que as condições de estabilidade estão garantidas. (SUH, 1990 e 2001)



Figura 5-12: Embalagem



Figura 5-13: Estruturas de Armazenagem

FR₃: Movimentar Embalagens para Clientes

DP₃: Sistema de Movimentação

Analisando DP_3 , não é possível identificar detalhes suficientes para a sua implementação, então um processo de *zag*, deve ser realizado.

Uma vez que a linha de montagem consome todas as peças do fornecedor num ritmo contínuo, mas com uma variação de *mix* dependendo de seqüência da linha de montagem e não existindo espaço para mais de 2 embalagens na linha, é necessário que se garanta flexibilidade de entrega. Essa flexibilidade significa que o *Sistema de Movimentação (DP₃)* deve ser capaz de entregar qualquer tipo de embalagem com a mesma velocidade, a qualquer momento e no menor intervalo de tempo possível. Para satisfazer esse requisito, é escolhido um requisito funcional que permita *Garantir Flexibilidade de Entrega (FR₃₁)* e é atendida através de *Composição de Dollies Montadas de Acordo com a Demanda da Linha de Montagem (DP₃₁)*, utilizando as próprias embalagens como *kanbans de retirada*.

Os desperdícios de movimentação devem ser minimizados. Portanto, em um ambiente em que o volume de entregas e a quantidade de viagens até o cliente é muito grande, é importante *Aumentar a Capacidade de Entrega por Viagem ao Cliente (FR₃₂)*, respeitando, todavia, o espaço na linha de montagem. De maneira análoga, isso ocorre também com a movimentação para a fábrica, onde a única diferença é que o *mix* que está sendo produzido em um dado instante é menor, porém, com velocidade maior, visto que as máquinas são compartilhadas e produzem um

mix de produtos. Dessa forma, segundo recomendação de BAUDIN (2004) e HARRIS (2004), escolhe-se utilizar *Rebocadores com Diversas Dollies Engatadas (DP₃₂)*.

O sistema da qualidade ISO 9000-2000 (HOYLE, 2001) pede que peças não-conformes estejam identificadas e nunca armazenadas no mesmo local que peças conformes, com o intuito de *Evitar o Envio de Embalagens sob Suspeita para o Cliente (FR₃₃)*. Para isso, as peças sob suspeita devem numa área de quarentena - *Armazenar Peças sob Suspeita em Área de Quarentena (DP₃₃)* - fora do âmbito do sistema de movimentação, cuja função não pode ser verificar a qualidade das peças no momento da solicitação do envio.

Em resumo, as *FRs* de *DP₃* desdobradas são:

FR₃₁: Garantir Flexibilidade de Entrega

FR₃₂: Aumentar Capacidade de Entrega por Viagem ao Cliente

FR₃₃: Evitar Envio de Embalagens sob Suspeita para o Cliente

As *DPs* correspondentes são:

DP₃₁: Composição de Dollies Montadas de Acordo com a Demanda da Linha de Montagem

DP₃₂: Rebocadores com Diversas Dollies Engatadas

DP₃₃: Armazenar Peças sob Suspeita em Área de Quarentena

É possível afirmar que *Evitar Envio de Embalagens sob Suspeita para o Cliente* somente depende de *DP₃₃*, uma vez que uma embalagem sob suspeita é identificada, ela não segue o procedimento normal de movimentação de peças para a armazenagem. Dessa forma, *FR₃₃* não depende de *DP₃₂*, tampouco de *DP₃₁*.

É possível dizer que utilizar *Composição de Dollies Montadas de Acordo com a Demanda da Linha de Montagem (DP₃₂)* não interfere em *Aumentar Capacidade de Entrega por Viagem a Clientes (FR₃₁)*, pois, essa função depende exclusivamente da quantidade de *dollies* presentes composição. Caso não fossem utilizadas rebocadores e *dollies* o único meio de transporte possível seria uma empilhadeira. No entanto, este não é o uso adequado desse equipamento, uma vez que sua função básica é a movimentação vertical (levantar carga) e não a

movimentação horizontal, o que um rebocador acoplado com *dollies* (HARRIS *et al.*, 2004) pode fazer bem mais rapidamente. Dessa forma, FR_{32} não depende de DP_{31} , tampouco de DP_{33} .

Para *Garantir Flexibilidade de Entrega* (FR_{31}) é necessário *Composição de Dollies Montadas de Acordo com a Demanda da Linha de Montagem* (DP_{31}) que sejam utilizados, pois *mix* e os produtos que acabarão na linha de montagem são imprevisíveis, ainda mais considerando intervalos de tempo muito curtos, com é o caso em questão. Na medida em que as embalagens que acabam nos clientes devem ser recolhidas, é necessário que *Rebocadores com Diversas Dollies Engatadas* (DP_{32}) seja utilizado, pois dessa forma garante-se que os “*kanbans* de embalagens” estão sendo movimentados para o cliente o mais breve possível. Dessa forma, na linha FR_{31} , DP_{31} e DP_{32} são dependentes.

A equação resultante é:

$$\begin{Bmatrix} FR_{31} \\ FR_{32} \\ FR_{33} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & X & 0 \\ 0 & X & 0 \\ 0 & 0 & X \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} DP_{31} \\ DP_{32} \\ DP_{33} \end{Bmatrix}$$

A matriz de projeto é desacoplada, assim, satisfaz o axioma da independência.

Implementação

FR₃₁: Garantir Flexibilidade de Entrega

DP₃₁: Composição de Dollies Montadas de Acordo com a Demanda da Linha de Montagem

A Figura 5-14 mostra um rebocador chegando da linha de montagem com diversos tipos de embalagens que acabaram na linha de montagem do cliente. Posteriormente a empilhadeira irá fazer seu ciclo de reabastecimento, enquanto isso, uma nova composição, previamente pronta está aguardando para ser entregue. O rebocador leva a composição pronta para o cliente (Figura 5-15 rebocador à direita), enquanto a linha de montagem continua consumindo e novos rebocadores com embalagens vazias continuam chegando ao pátio de manobras da fábrica. (Figura 5-15, rebocador à esquerda)



Figura 5-14: Entrega com Base no Consumo da Linha de Montagem



Figura 5-15: Chegada de Embalagens Vazias da Linha de Montagem (à esquerda);
Envio de Embalagens Cheias para a Linha de Montagem (à direita)

Implementação

FR₃₂: Aumentar Capacidade de Entrega por Viagem ao Cliente

DP₃₂: Rebocadores com Diversas Dollies Engatadas

Rebocadores são pequenos carros elétricos com a finalidade de puxar uma composição de embalagem para o seu ponto de uso. A Figura 5-16 (1) mostra um rebocador realizando uma entrega no interior da fábrica do fornecedor. Quando se utiliza diversas dollies engatadas, é possível aumentar a capacidade de entregas por viagem. Neste caso, são montadas composições de embalagens vazias no pátio de manobras para máquinas e retiradas as embalagens cheias das mesmas.

A Figura 5-16 (2), ao contrário, mostra outro rebocador realizando uma entrega na montadora. Neste caso, a entrega é de embalagens cheias para o cliente e são retiradas embalagens vazias.



(1)



(2)

Figura 5-16: Rebocador com Diversas Dollies Engatadas

DP₃₃: Armazenar Peças sob Suspeita em Área de Quarentena

A área de quarentena é simplesmente uma área identificada na fábrica, fora da área de armazenagem, onde todas as embalagens com suspeitas de problema de qualidade devem ser segregadas e armazenadas. Veja esquema na Figura 5-11.

Desdobramento

FR₄: Programar Produção da Fábrica

DP₄: Sistema de Programação

Analisando DP_4 , não é possível identificar detalhes suficientes para a sua implementação, então, um processo de *zag* deve ser realizado. A decomposição é feita desdobrando DP_4 em *FRs* de nível 4X.

Ao colocarmos um *Sistema de Programação (DP_4)* dentro de um condomínio industrial, as *DPs* se tornam intuitivas. É impossível confiar na estabilidade *mix* de consumo (considerando cores, modelos, acessórios) num horizonte tão curto de tempo em que o fornecedor está envolvido. Dessa forma um sistema que somente produza com base em uma demanda real é um condição obrigatória, evitando assim o desperdício da superprodução. Para *Produzir com Base na Demanda Real da Linha de Montagem (FR_{41})*, uma ferramenta de sucesso que deve ser utilizada é o *Sistema de Puxar com Ponto de Reposição Visual (Kanban de Produção) (DP_{41})*. O sistema de puxar é recomendado por MONDEN (1997) e SUH *et al.* (1998). TARDIN (2001) e FAVARO (2003) apresentam uma abordagem do sistema de puxar com *pontos de reposição visual* adequadas.

Além disso, o *Sistema de Programação (DP_4)* deve endereçar os *setups* na produção. Uma vez que o *setup* é uma atividade complexa, que em geral necessita de pessoal qualificado e cujo tamanho da equipe reduzida, é necessário coordenar essas atividades de modo a evitar que elas não ocorram em várias máquinas. Uma carga de trabalho nivelada, princípio da manufatura enxuta - OHNO (1988), MONDEN (1997), reduz os picos de trabalho (que podem gerar desperdícios dos defeitos, esperas) e vales de trabalho dos operadores e preparadores (desperdício da espera) ou que gere atrasos na produção (desperdício de recursos), assim é necessário *Minimizar de Setups Simultâneos (DP_{42})*. Para que isso seja realizado, uma ferramenta de gestão visual (princípio da manufatura enxuta), através um *Quadro de Programação de Trocas (DP_{42})*, de modo que se consiga prever com algumas horas de antecedência quando ocorrerão os *setups* e quais são as possibilidades de defasar a programação para minimizá-los. O operador da máquina pode escolher produzir mais ou menos, dentro de um certo limite dado pelas faixas de disparo, de modo que os *setups* podem ser defasados por algum tempo.

Em resumo, as *FRs* desdobradas de DP_4 :

FR₄₁: Produzir com Base no Consumo Real da Linha de Montagem

FR₄₂: Minimizar Setups Simultâneos

As *DPs* correspondentes são:

*DP*₄₁: *Kanban de Produção com Ponto de Disparo Visual*

*DP*₄₂: *Quadro de Programação de Trocas*

Para *Produzir com Base no Consumo Real da Linha de Montagem* (*DP*₄₁) é necessário que um *Kanban de Produção com Ponto de Disparo Visual* (*DP*₄₁) esteja em operação. Os *kanbans de produção* são utilizados para informar a quantidade faltante no supermercado. É também evidente que *Kanban de Produção com Ponto de Disparo Visual* (*FR*₄₁) gera informação para o *Quadro de Programação de Trocas* (*DP*₄₂), pois o cronograma de produção é informado a partir dos produtos que o sistema de puxar pede que sejam produzidos, com base no lote planejado, definido pela faixa verde do *kanban*. Dessa forma, *FR*₄₁ é dependente de *DP*₄₁ e *DP*₄₂.

Minimizar Setups Simultâneos (*FR*₄₂) é satisfeita através de um *Quadro de Programação de Troca* (*DP*₄₂). Na medida em que os cartões de troca são colocados no quadro de programação e a simultaneidade de setups é visualmente avaliada, o operador pode optar por reduzir alguns tamanhos de lote a serem produzidos. No entanto essa interferência é pequena, reduzindo em 30 minutos ou 1 hora aquilo que foi planejado anteriormente. Assim considera-se de *FR*₄₂ independente de *DP*₄₁.

Em resumo, as *FRs* desdobradas são:

$$\begin{Bmatrix} FR_{41} \\ FR_{42} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & X \\ 0 & X \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} DP_{41} \\ DP_{42} \end{Bmatrix}$$

A matriz de projeto é desacoplada, assim, satisfaz o axioma da independência.

Analisando a *DPs* escolhidas, já existe detalhamento suficiente para a implementação.

Implementação

FR*₄₁: *Produzir com Base no Consumo Real da Linha de Montagem

DP*₄₁: *Kanban de Produção com Ponto de Disparo Visual

Quando a injeção acaba de produzir uma embalagem, um *kanban* é colocado na embalagem e esta é colocada no supermercado. Esse processo se repete até que se complete o lote de injeção. Conforme as embalagens retornam dos clientes, os *kanban* são retirados das

embalagens vazias e são colocados no quadro *kanban*. Todas as peças injetadas utilizam esse sistema, conforme Figura 5-17. O sistema puxado de peças pintadas (Figura 5-18) é similar ao de peças injetadas.

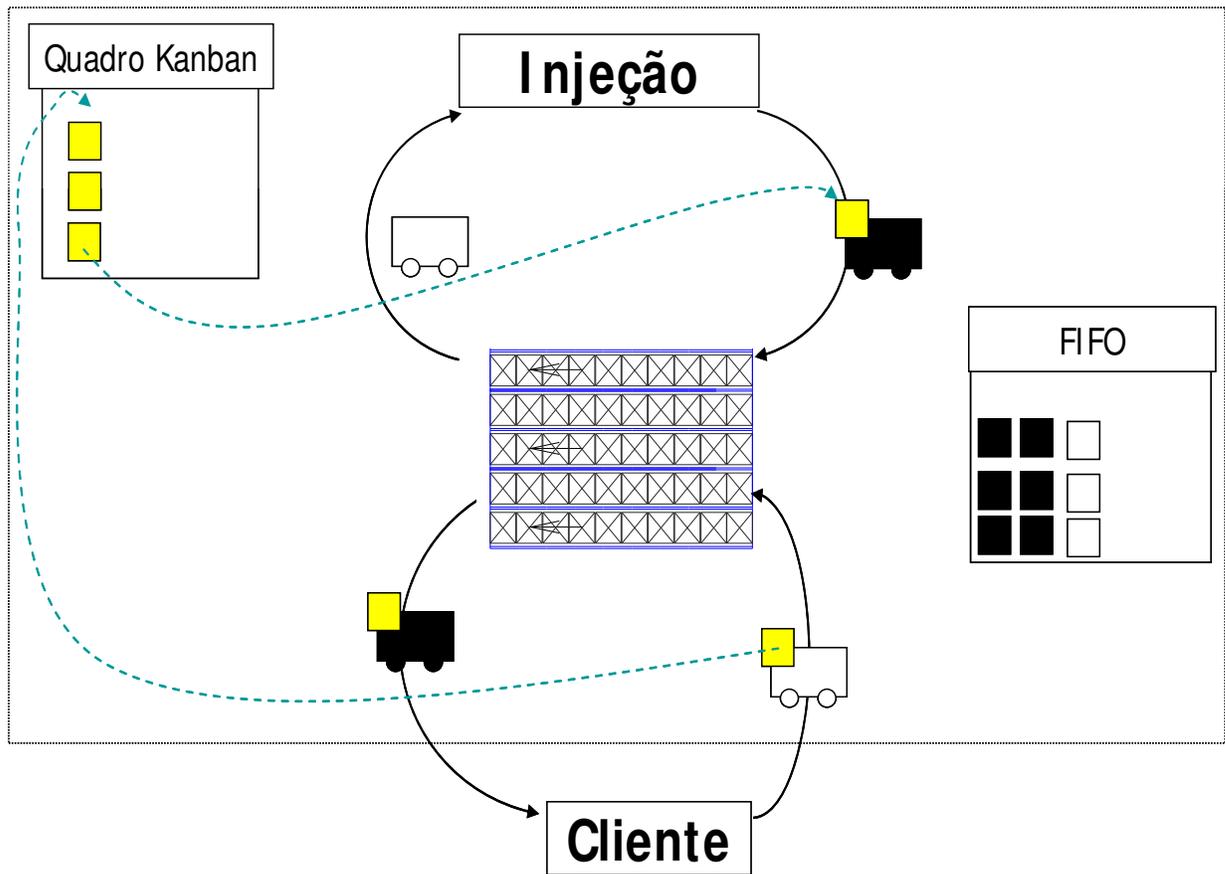


Figura 5-17: Produção com Base no Consumo Real – Peças Injetadas

A pintura deve produzir baseada no consumo da real da linha de montagem. A área de pintura também produz em lotes de cores para repor as embalagens que foram consumidas pela área de seqüenciamento. O seqüenciamento faz as montagens e coloca as peças na ordem em que elas serão consumidas na linha de montagem. Quando uma embalagem de uma determinada cor é esvaziada, um *kanban* é levado ao quadro da pintura.

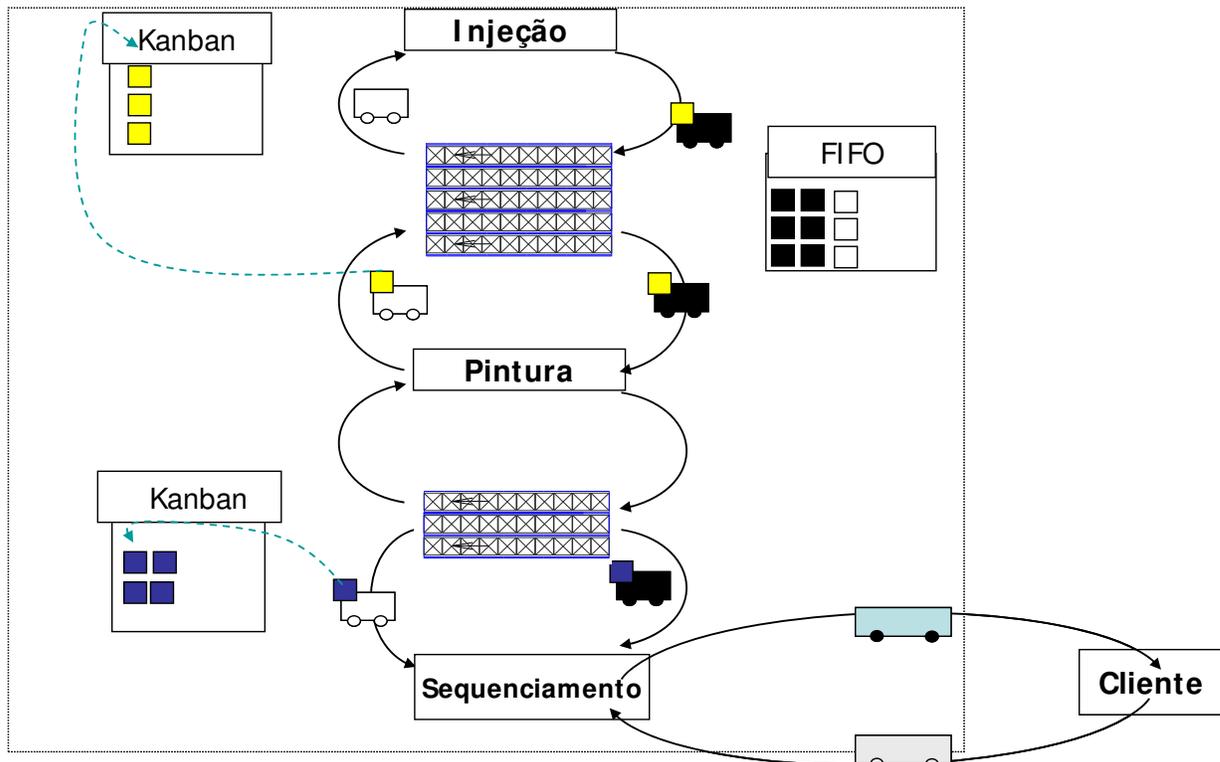


Figura 5-18: Produção com Base no Consumo (Peças Pintadas) Real

Conforme os *kanbans* são enviados para as áreas de origem e são colocados em suas respectivas caixas, os cartões começam a ser empilhados. Quanto maior a pilha, maior a quantidade de embalagens vazias.

Quando a quantidade de *kanbans* atinge um certo limite, existe a necessidade de iniciar a produção da peça. Esse limite é dado pela cor amarela na escala de cores ao lado da caixa da peça. Periodicamente os operadores conferem o quadro e decidem qual será a próxima peça a ser produzida em um conjunto de máquinas. (Figura 5-19)

Como a quantidade de *kanban* é muito elevada - existem quadros com 500 cartões - estes cartões são colocados no quadro de maneira empilhada, dentro de uma caixa de acrílico, com o objetivo de reduzir o tamanho dos quadros. Essa escolha de empilhar os cartões traz uma dificuldade adicional, pois uma vez colocado na pilha, é impossível saber se o *kanban* foi colocado na caixa correta. Assim, foi desenvolvido um código de cores na lateral do *kanban*, onde se pode verificar essa falha. (Figura 5-19)



Figura 5-19: Ponto de Disparo Visual

Implementação

FR₄₂: Minimizar Setups Simultâneos

DP₄₂: Quadro de Programação de Trocas

Através de uma simples contagem do número de *kanbans* é possível saber qual será a hora que uma determinada máquina irá acabar de injetar o lote. Então, uma vez decidido qual será a peça a ser produzida, o operador coloca um cartão de preparação de máquina no horário em que irá iniciar a troca do produto (*setup*). Esse quadro exerce uma função similar a do quadro *Heijunka*.

Como existem diversas máquinas em que podem ocorrer preparação, todos os quadros contêm os cartões de troca das peças que irão ser produzidas e em quais horários, conforme Figura 5-20. Caso ocorram muitas trocas no mesmo horário, o operador pode decidir fazer menos

peças para que a atividade de preparação não ocorra em diversos postos, o que indesejavelmente aumentaria o tempo de troca de produtos na fábrica.

Quando toda a preparação já foi realizada e a primeira peça boa foi obtida, um cartão verde deve ser colocado no horário em que isso ocorreu para que a próxima contagem seja feita a partir desse horário para um novo produto a ser fabricado.



Figura 5-20: Quadro de Programação de Troca de Moldes

5.2.3 Estudo de Terceiro Nível

Desdobramento

***FR₁₁*: Conectar Fábrica ao Supermercado**

***DP₁₁*: Pátio de Manobras para Fábrica**

Analisando DP_{11} , não é possível identificar detalhes suficientes para a sua implementação, então um processo de *zag*, deve ser realizado. A decomposição é feita desdobrando DP_{11} em *FRs* de nível 11X.

Dada uma restrição de espaço no pátio de manobras devido a uso do piso de fábrica por máquinas e pela área de armazenagem, é necessário que se busque formas de usar menos área

para o *Pátio de Manobra para Fábrica*. Dessa forma, é intuitivo que *Minimizar Área Ocupada* deve ser um requisito funcional (FR_{111}). Como a fábrica não produz todo o *mix* ao mesmo tempo, não é necessário que todos os tipos de embalagens estejam disponíveis no solo, no entanto, não existe espaço nas estações de trabalho que permita um envio desordenado. Deve-se garantir uma forma que as embalagens necessárias estejam sempre disponíveis para a fábrica, sem excesso. Dessa forma, escolhe-se *Utilizar Duas Posições de Dollies Desengatadas por Máquina* (DP_{111}), ou seja, um estacionamento com 2 vagas para atender cada máquina que esteja em produção. Utiliza-se *dollies* desengatadas, pois elas ocupam menos espaço.

A função básica do *Pátio de Manobras* ainda não foi detalhada e é neste desdobramento que ela aparece claramente, que é a função de desacoplamento, que apareceu no nível um. Enquanto o sistema de armazenagem precisar de informação para disponibilizar a embalagem para a movimentação, o acoplamento permanece, dessa forma, é necessário *Substituir Embalagem Cheia pela Vazia com Antecedência* (FR_{112}). Esse requisito é satisfeito através do *Kanban de 2 Embalagens para Embalagens Vazias* (DP_{112}), que funciona como um *kanban* de retirada para embalagens.

Em resumo, as *FRs* desdobradas de DP_{11} são:

FR_{111} : *Minimizar Área Ocupada*

FR_{112} : *Substituir Embalagem Cheia pela Vazia com Antecedência*

As *DPs* correspondentes são:

DP_{111} : *Utilizar Duas Posições de Dollies Desengatadas por Máquina*

DP_{112} : *Kanban de 2 Embalagens para Embalagens Vazias*

Através de *Utilizar Duas Posições de Dollies Desengatadas por Máquina* (DP_{111}) é possível minimizar a *Minimizar Área Ocupada* (FR_{111}) uma vez que as *dollies* desengatadas podem ser mais compactadas e exigem menos espaço para corredores. Existe um relacionamento entre *Minimizar Área Ocupada* (FR_{111}) e *Kanban de 2 Embalagens para Embalagens Vazias* (DP_{112}), pois, qualquer variação da quantidade de embalagens vazias disponíveis, a área ocupada varia também. Dessa forma, FR_{111} é dependente de DP_{111} e DP_{112} .

Para *Substituir Embalagem Cheia pela Vazia com Antecedência* (FR_{112}) depende da preparação das embalagens através de *Kanban de 2 Embalagens para Embalagens Vazias* (DP_{112}). No entanto, é irrelevante para FR_{112} a quantidade de posições para as *dollies* ou se as mesmas estão desengatadas ou não, pois sempre onde houver uma posição com embalagem cheia, ela será substituída por uma embalagem vazia. Dessa forma, FR_{112} não depende de DP_{111} .

A equação e a matriz de projeto é definida como:

$$\begin{Bmatrix} FR_{111} \\ FR_{112} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & X \\ 0 & X \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} DP_{111} \\ DP_{112} \end{Bmatrix}$$

A matriz de projeto é desacoplada, assim, satisfaz o axioma da independência.

Analisando a *DPs* escolhidas, já existe detalhamento suficiente para a implementação.

Implementação

FR₁₁₂: Substituir Embalagem Cheia pela Vazia com Antecedência

DP₁₁₂: Kanban de 2 Embalagens para Embalagens Vazias

O *kanban* de 2 embalagens é um tipo de *Kanban* de Retirada, isto é, um *kanban* de movimentação onde se mantém sempre 2 embalagens de cada tipo de produto no ponto de uso. A autorização de envio de material é dada pelo retorno da própria embalagem. (MONDEN, 1997)

O operador percorre a rota, recolhendo embalagens que foram preenchidas e dirige-se ao pátio de manobras (Figura 5-21), onde as *dollies* com embalagens vazias nos locais destinados estão posicionadas. É feita a desconexão das *dollies* com embalagens cheias, as *dollies* com embalagens vazias são conectadas, e o operador de rebocador dirige-se à injeção para entregar as embalagens que foram preenchidas na volta anterior.

Enquanto isso é feito, o operador de empilhadeira visualiza a identificação das embalagens cheias e realiza a substituição das mesmas por embalagens vazias. Quando o rebocador retorna, após realizar a entrega de embalagens vazias e o recolhimento de embalagens cheias, o processo se reinicia.

É verdade que o processo de engatar e desengatar *dollies* na composição demanda um certo tempo, porém, como o objetivo é atender a uma área interna da fábrica e o requisito principal não é o tempo de entrega e sim a redução do uso de área.



Figura 5-21: Pátio de Manobras para Fábrica

Desdobramento

***FR*₁₂: Conectar Supermercado a Clientes**

***DP*₁₂: Pátio de Manobras para Clientes**

Analisando *DP*₁₂, não é possível identificar detalhes suficientes para a sua implementação, então um processo de *zag*, deve ser realizado. A decomposição é feita desdobrando *DP*₁₂ em *FRs* de nível 12X

As limitações de espaço que existiam no pátio de manobras para fábrica não existem para o *Pátio de Manobras para Clientes* (*DP*₁₂), dado o pré-layout apresentado na Figura 5-11. No entanto, há de se compreender que em se tratando de uma entrega ao cliente e que está mais distante, qualquer tempo perdido pode representar uma parada de linha ou uma falta momentânea de componentes. Desse modo o requisito funcional é diferente e é escolhido como *Reduzir Tempo das Viagens* (*FR*₁₂₁), isto é, a atividade de engatar e desengatar *dollies* (desperdício de movimentos do operador) não é mais necessária. Desse modo, uma operação com as *dollies* todas prontas e engatadas são bastante convenientes, resultando em *Composição em Espera com Dollies Engatadas* (*DP*₁₂₁). Essa operação de trabalhar com *dollies* engatadas requer uma série de características que serão mencionadas posteriormente.

A função básica do *Pátio de Manobras para Clientes* é a função de desacoplamento, mencionada no nível um. De maneira análoga ao *Pátio de Manobras para Fábrica*, enquanto o

sistema de armazenagem precisar de informação para disponibilizar a embalagem para a movimentação, o acoplamento permanece, dessa forma, é necessário *Substituir Embalagem Vazia pela Cheia com Antecedência* (DP_{122}). Esse requisito é satisfeito através de um *Kanban de 2 Embalagens para Embalagens Cheias* (DP_{122}), que funciona como um tipo *kanban* de retirada.

Em resumo, as *FRs* desdobradas de DP_{12} são:

FR_{121} : *Reduzir Tempo das Viagens*

FR_{122} : *Substituir Embalagem Vazia pela Cheia com Antecedência*

As *DPs* correspondentes são:

DP_{121} : *Composição em Espera com Dollies Engatadas*

DP_{122} : *Kanban de 2 Embalagens para Embalagens Cheias*

Existe uma forte relação entre *Reduzir Tempo das Viagens* (FR_{121}) e *Composição em Espera com Dollies Engatadas* (DP_{121}) uma vez que as *dollies* engatadas só requerem um desengate da composição com as embalagens vazias e um engate da composição com as embalagens cheias. No entanto, parte da redução de tempo também se dá pela preparação antecipada através de *Kanban de 2 Embalagens para Embalagens Cheias* (DP_{122}). Dessa maneira, FR_{121} depende de DP_{121} e de DP_{122} .

Analogamente ao *Pátio de Manobras para Fábrica* (DP_{11}), para *Substituir Embalagem Vazia pela Cheia com Antecedência* (FR_{122}) depende da preparação antecipada das embalagens através de *Kanban de 2 Embalagens para Embalagens Cheias* (DP_{122}). É irrelevante para FR_{122} a quantidade o fato da *Composição em Espera com Dollie Engatadas*, pois a chamada para a substituição ocorre no momento do retorno da composição do cliente e sempre onde houver uma posição com embalagem cheia, ela será substituída por uma embalagem vazia. Dessa forma, FR_{122} depende somente de DP_{122} .

A equação e a matriz de projeto é definida como:

$$\begin{Bmatrix} FR_{121} \\ FR_{122} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & X \\ 0 & X \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} DP_{121} \\ DP_{122} \end{Bmatrix}$$

A matriz de projeto é desacoplada, assim, satisfaz o axioma da independência. Analisando a *DPs* escolhidas, já existe detalhamento suficiente para a implementação.

Implementação

***FR*₁₂: Conectar Supermercado a Clientes**

***DP*₁₂: Pátio de Manobras para Clientes**

A diferença básica desse tipo de solução é que não é necessário se desengatar e engatar *dollies* no pátio de manobras (Figura 5-22), uma vez que existe um espaço disponível para trabalhar a reposição de embalagens com composições engatadas. Os ciclos de reposição entre o pátio e armazenagem são mostrados pelas Figura 5-23 e Figura 5-24.



Figura 5-22: Pátio de Manobra para Cliente



Figura 5-23: Retirada de Embalagem Vazia no Pátio de Manobras – Chamada de Reposição



Figura 5-24: Colocação de Embalagem Cheia no Pátio de Manobras – Reposição

Desdobramento

FR₂₁: Armazenar Peças

DP₂₁: Embalagem

Analisando DP_{21} , não é possível identificar detalhes suficientes para a sua implementação, então um processo de *zag* deve ser realizado. A decomposição é feita desdobrando DP_{21} em *FRs* de nível 21X.

Para evitar o desperdício do retrabalho ou do refugo, um requisito da embalagem é *Proteger Peças contra Danos (DP₂₁₁)* (GOLDSBY *et al.*, 2005). Essa é uma característica fundamental da embalagem, especialmente em peças plásticas de aparência e pintadas, cujo cuidado na manipulação é fundamental. As peças são muito sensíveis a qualquer contato, causando marcas e riscos, distorção dimensional devido peso próprio da peça, da posição de armazenagem ou da compressão devida ao comportamento viscoelástico¹⁵ dos polímeros, que, segundo COSTI (2006), são muito comuns na indústria. Para GOLDSBY *et al.* (2005), o projeto de embalagens também é uma forma de redução de desperdícios. Dessa forma, *Embalagem Padrão e Dedicada por Produto (DP₂₁₁)* para cada produto projetada para cada tipo de produto deve satisfazer essa *FR* de modo a minimizar esse fenômeno físico na peça.

Para que a quantidade de peças no supermercado seja um reflexo fiel ao que se mostra no quadro *kanban*, é necessário manter a quantidade de peças prevista no cálculo do supermercado e conseqüentemente da quantidade de peças na embalagem (OHNO, 1988) & MONDEN (1997). Então, desdobra-se DP_{21} em um requisito funcional *Armazenar Quantidade Correta (FR₂₁₂)*. TARDIN (2001), FAVARO (2003), HARRIS (2004), OHNO (1988) afirmam que a informação da quantidade de peças devem estar escritas no *kanban* de cada produto. Dessa forma, FR_{212} deve ser satisfeita informando *Quantidade por Embalagem Padronizada pelo Kanban (DP₂₁₂)*.

Em resumo, as *FRs* desdobradas de DP_{21} são:

FR_{211} : *Proteger Peças Contra Danos*

FR_{212} : *Armazenar Quantidade Correta*

As *DPs* correspondentes são:

¹⁵ Os materiais viscoelásticos se caracterizam por uma resposta de deformação em função do tempo para uma determinada carga aplicada (COSTI, 2006)

DP₂₁₁: Embalagem Padrão e Dedicada por Produto

DP₂₁₂: Quantidade por Embalagem Padronizada pelo Kanban

Existe então uma dependência direta entre *Proteger Peças Contra Dano (FR₂₁₁)* e *Embalagem Padrão e Dedicada por Produto (DP₂₁₁)*, no entanto, é possível verificar que existe também uma dependência com *Quantidade por Embalagem Padronizada pelo Kanban (DP₂₁₂)*. A informação da quantidade de peças que embalagem a embalagem deve conter *Quantidade por Embalagem Padronizada pelo Kanban (DP₂₁₂)*, auxilia na proteção das peças, na medida em que orienta a quantidade adequada para qual a embalagem foi projetada, reduzindo a possibilidade de armazenagem incorretas das peças que podem causar danos. Dessa maneira, *FR₂₁₁* é dependente de *DP₂₁₁* e *DP₂₁₂*.

Pelo desdobramento de *DP₂₁*, fica evidente que existe uma dependência entre *Armazenar Quantidade Correta (FR₂₁₂)* e *Quantidade por Embalagem Padronizada pelo Kanban (DP₂₁₂)*. No entanto, somente *Embalagem Padrão e Dedicada por Produto (DP₂₁₁)* não garante que a quantidade projetada seja armazenada na embalagem, pois o operador pode armazenar de maneiras não prevista e assim não respeita a quantidade planejada de peças na embalagem. Assim, *Armazenar Quantidade Correta (FR₂₁₂)* não depende de *Embalagem Padrão e Dedicada (DP₂₁₁)*. Dessa maneira, *FR₂₁₁* é dependente somente de *DP₂₁₁*.

A equação e a matriz de projeto é definida como:

$$\begin{Bmatrix} FR_{211} \\ FR_{212} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & X \\ 0 & X \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} DP_{211} \\ DP_{212} \end{Bmatrix}$$

A matriz de projeto é desacoplada, assim, satisfaz o axioma da independência.

Analisando a *DPS* escolhidas, já existe detalhamento suficiente para a implementação.

Implementação

FR₂₁₂: Armazenar Quantidade Correta

DP₂₁₂: Quantidade por Embalagem Padronizada pelo Kanban

Para que a quantidade de peças no supermercado seja um reflexo fiel ao que se mostra no quadro *kanban*, é necessário manter a quantidade de peças prevista no cálculo do supermercado.

Isso é obtido através da informação da quantidade de peças descrita no *kanban* de cada peça, conforme a Figura 5-25.

P/N Forn 423554	
DESCR: XXXX YYYYYY ZZZZ	
MODELO:	QTD.: 12
P/ N Cliente: 8888 - 99999 - 0000NXM	

Figura 5-25: Padronização da Quantidade pelo *Kanban*

Desdobramento

FR₂₂: Armazenar Embalagens

DP₂₂: Estrutura de Armazenagem

Analisando DP_{22} , não é possível identificar detalhes suficientes para a sua implementação, então um processo de *zag*, deve ser realizado. A decomposição é feita desdobrando DP_{22} em *FRs* de nível 22X.

Iniciando o desdobramento a *Estrutura de Armazenagem* (DP_{22}) deve-se *Reduzir a Área Ocupada* (DP_{221}), devido à restrição de área do fornecedor uma vez que o número muito grande de embalagens e que as embalagens vazias também devem ser colocadas na estrutura de armazenagem. Para satisfazer precisa-se buscar formas de armazenagem que permitam uma *Alta Densidade de Armazenagem* (FR_{221}).

Continuando o desdobramento, a *Estrutura de Armazenagem* (DP_{22}) deve permitir que as embalagens possam armazenadas de modo a *Garantir Rotatividade de Estoque* (FR_{222}), conforme HARRIS *et al.* (2004) e norma ISO 9001:2000 (HOYLE, 2001). Esse é um fator importante, pois facilita a rastreabilidade em caso de problemas de qualidade, reduz o risco deterioração que de

alguma forma impeça o produto de ser entregue imediatamente - conforme a Regra 5 do *kanban*¹⁶ (OHNO, 1988) e (MONDEN, 1997) - como poeira, sujeira, uma vez que os polímeros são eletrostáticos. Recorrendo ao princípio *Lean* da Gestão Visual e buscando reduzir o desperdício da administração, a *FR*₂₂₂ é garantida através da utilização de um *Quadro de Gestão Visual com Sistema FIFO*¹⁷ (*DP*₂₂₂).

Devido a experiências anteriores com embalagens similares no condomínio, o fornecedor de embalagens recomenda que as embalagens não fiquem ao ar livre devido redução drástica de durabilidade e que ocasionaria significativos custos de reparos. Embalagens feitas sob medida para acomodar peças sensíveis requerem características especiais como apoios acolchoados, coberturas e proteções que são muito sensíveis à ação do tempo. Assim, a *Estrutura de Armazenagem* (*DP*₂₂) deve ser utilizada para *Aumentar Vida Útil das Embalagens* (*FR*₂₂₃) e como existe uma restrição de espaço disponível em área interna, escolhe-se, portanto, *Armazenar Embalagens Cheias e Vazias na Estrutura de Armazenagem* (*DP*₂₂₃). Importante ressaltar que a *DP*₂₂₃ gera uma série de implicações operacionais, as quais serão detalhadas nas seções subseqüentes.

Em resumo, as *FRs* desdobradas de *DP*₂₂ são:

*FR*₂₂₁: *Reduzir Área Ocupada*

*FR*₂₂₂: *Garantir Rotatividade de Estoque*

*FR*₂₂₃: *Aumentar a Vida Útil das Embalagens*

As *DPs* correspondentes são:

*DP*₂₂₁: *Alta Densidade de Armazenagem (pçs/m³)*

*DP*₂₂₂: *Quadro Gestão Visual com Sistema FIFO*

*DP*₂₂₃: *Armazenar Embalagens Cheias e Vazias na Estrutura de Armazenagem*

¹⁶ Regras do Kanban – descritas por OHNO (1997) e MONDEN (1997). A regra 5 especificamente diz que somente peças boas podem ser armazenadas no kanban. No caso específico dos produtos que o fornecedor entrega, algumas poucas semanas podem ser suficientes para que poeira seja atraída a superfície de peças plásticas, aumentando a possibilidade de riscos em peças pintadas e de envio de peças sujas. Em ambos os casos, o *FIFO* torna-se fundamental para que um produto que era conforme quando for armazenado, também esteja conforme quando for entregue

¹⁷ “*First-In, First-Out*”

Para *Reduzir Área Ocupada* (FR_{221}) é evidente que existe uma forte dependência da *Alta Densidade de Armazenagem* (DP_{221}) ($pçs/m^3$). Desde que a forma adequada de armazenagem seja escolhida (HARRIS *et al.*, 2004), não é de se esperar que um *Sistema FIFO* tenha um impacto no uso da área. Dessa forma, FR_{221} independe de DP_{222} . Analisando a dependência entre *Reduzir Área Ocupada* (FR_{222}) *Armacenar e Embalagens Cheias e Vazias na Estrutura de Armazenagem* (DP_{223}) vê-se um forte relacionamento, pois todas as embalagens cheias e vazias devem compartilhar o mesmo espaço. Na prática, é o número de embalagens cheias e vazias no supermercado é praticamente constante, uma vez que quando uma embalagem entra, a outra sai. Em resumo, FR_{221} , depende de DP_{221} e de DP_{223} .

Existe uma forte relação entre *Garantir Rotatividade de Estoque* (FR_{222}) e um *Quadro de Gestão Visual com Sistema FIFO* (DP_{222}). No entanto, para *Garantir Rotatividade de Estoque* (FR_{222}), não é relevante se a densidade de armazenagem é alta ou baixa. Assim, não é possível ver dependência entre FR_{222} e DP_{221} . Ao contrário, para e *Armacenar Embalagens Cheias e Vazias na Estrutura de Armazenagem* (DP_{223}) introduz-se uma complexidade na operação *FIFO* que pode interferir em se *Garantir Rotatividade de Estoque* (FR_{222}). Dessa forma, FR_{222} depende de DP_{222} e DP_{223} .

Não é possível verificar interferência de *Alta Densidade de Armazenagem* (DP_{221}) ou de *Quadro de Gestão Visual com Sistema FIFO* (DP_{222}) em *Aumentar Vida Útil das Embalagens* (FR_{223}). Desta forma, FR_{223} depende somente de DP_{223} .

A equação e a matriz de projeto é definida como:

$$\begin{Bmatrix} FR_{221} \\ FR_{222} \\ FR_{223} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & X \\ 0 & X & X \\ 0 & 0 & X \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} DP_{221} \\ DP_{222} \\ DP_{223} \end{Bmatrix}$$

A matriz de projeto é desacoplada, assim, satisfaz o axioma da independência.

Analisando a DPs escolhidas, já existe detalhamento suficiente para a implementação.

Desdobramento

FR_{32} : Aumentar Capacidade de Entrega por Viagem ao Cliente

DP_{32} : Rebocadores com Diversas *Dollies* Engatadas

Analisando DP_{32} , ainda não é possível identificar detalhes suficientes para a sua implementação, então um novo processo de *zag*, deve ser realizado. A decomposição é feita desdobrando DP_{32} em *FRs* de nível 32X.

Devido a limitação do espaço na linha de montagem do cliente, com espaço para somente 2 embalagens para cada produto, não se pode enviar as embalagens antes que as mesmas tenham sido efetivamente consumidas. Já foi comentado que não é possível prever quando as embalagens irão acabar, pois o *mix* varia muito em intervalos curtos de tempo. Dessa forma, os *Rebocadores com Diversas Dollies Acopladas* (DP_{32}) devem *Entregar com Base no Consumo Real da Linha de Montagem* (FR_{321}), alinhando-se aos princípios do *TPS* na medida em que é uma forma de entregar o produto certo, na hora certa. Dessa forma, sistemas puxados de movimentação, como *Kanban de 2 Embalagens* (DP_{321}) são bastante adequados.

Além disso é necessário que *Rebocadores com Diversas Dollies Engatadas* (DP_{32}) utilizem um *Padrão de Entrega* (DP_{322}). HARRIS *et al.* (2004) afirma que esse é necessário dimensionar qual o conjunto de postos de trabalho nos clientes serão visitados em uma viagem e que desse dimensionamento, resultam as rotas e recursos necessários para realizar as entregas. Para isso, escolhe-se a utilização de *Rotas de Entregas Alternadas e Desacopladas* (DP_{322}). As rotas devem ser desacopladas, pois não se deseja desperdícios de movimento do operador para troca de equipamento de movimentação (rebocador, empilhadeira, rebocador) a cada ida a pátio de manobras. Além disso, como as embalagens acabam de maneira aleatória na linha de montagem, é desejável que o rebocador passe a maior parte de seu tempo na linha de montagem, retirando embalagens vazias e levando produtos para ela o mais rápido possível. Por isso também, que se escolher utilizar rotas alternadas, pois a medida que dois rebocadores alternando de rotas podem duplicar a frequência de visitas as PDUs do cliente.

Em resumo, as *FRs* desdobradas de DP_{32} são:

FR_{321} : *Entregar com Base no Consumo Real da Linha de Montagem*

FR_{322} : *Utilizar Padrão de Entrega*

As *DPs* correspondentes são:

DP_{321} : *Kanban de 2 Embalagens*

DP_{322} : *Rotas de Entregas Alternadas e Desacopladas*

Entregas com Base no Consumo Real da Linha de Montagem (FR₃₂₁) são fortemente dependentes de *Kanban de 2 Embalagens (DP₃₂₁)*, pois é, na verdade, um *kanban* de retirada. É possível ver uma dependência clara entre *Entregar com Base no Consumo Real da Linha de Montagem (FR₃₂₁)* e *Rotas de Entregas Alternadas e Desacopladas (DP₃₂₂)*, pois apesar de ser possível realizar entregas com base no consumo sem rotas alternadas, acopladas ou desacopladas, as entregas na linha são mais precisas, freqüentes e rápidas quando se utiliza *Rotas de Entregas Alternadas e Desacoplada (DP₃₂₂)*. Dessa forma *FR₃₂₁* depende também de *DP₃₂₂*.

Utilizar Padrão de Entrega (FR₃₂₂) possui uma forte relação com *Rotas de Entregas Alternadas e Desacopladas (DP₃₂₂)*, uma vez que *DP₃₂₂* determina o padrão operacional a ser realizado na entrega (alternado e desacoplado). No entanto, todo o *Padrão de Entrega* é uma função somente no consumo da linha, nos tempos de entrega e na freqüência de visita aos PDUs (HARRIS *et al*, 2004). Assim, existe uma independência entre *DP₃₂₁* e *FR₃₂₂*.

A equação e a matriz de projeto é definida como:

$$\begin{Bmatrix} FR_{321} \\ FR_{322} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & X \\ 0 & X \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} DP_{321} \\ DP_{322} \end{Bmatrix}$$

A matriz de projeto é desacoplada, assim, satisfaz o axioma da independência.

Implementação

DP₃₂₁: Kanban de 2 Embalagens

Como na linha de montagem existem posições específicas e limitadas para cada produto (Figura 5-26), a chamada do material só pode ser realizada quando uma embalagem é consumida em sua totalidade (Figura 5-27). Assim que essa embalagem é vista pelo rebocador, ele a retira da linha, coloca-a na composição e a leva para o pátio de manobras para o cliente.

É importante notar que a própria embalagem é a chamada para a reposição, não necessitando de *kanban* de retiradas físicos, pois, as embalagens dedicadas já exercem essa função.



Figura 5-26: Embalagens na Linha de Montagem para *Kanban* de Retirada



Figura 5-27: Retirada de Embalagem Vazia na Linha de Montagem – Chamada de Reposição

Enquanto isso, paralelamente, no pátio de manobras para o cliente, a empilhadeira faz seu ciclo de reposição em paralelo ao ciclo de entrega de produtos ao cliente (Figura 5-23 e Figura 5-24).

DP₃₂₂: Rotas de Entregas Alternadas e Desacopladas

Para fins didáticos, é apresentado um ciclo com um único rebocador alternando rotas de entrega entre Trim 1 (lado esquerdo e direito) e Trim 3 (lado esquerdo e direito). Supondo toda a linha do cliente cheia e com pelo menos duas embalagens de cada tipo de peça, todo o processo se inicia com os rebocadores fazendo um único ciclo em torno de uma rota. Nesse primeiro ciclo, o rebocador passa uma vez recolhendo os racks vazios e volta para o pátio de manobras (Figura 5-28). Ele deixa a composição com racks vazios da rota trim 1 e pega a composição com racks cheios da rota Trim 3 (Figura 5-29), previamente preparada no ciclo anterior.

O mesmo rebocador faz a entrega da rota trim 3 (Figura 5-29), entregando racks cheios nos pontos de uso. Fazendo um outro giro na mesma rota, ele recolherá os racks vazios e se dirigirá ao pátio de manobras (Figura 5-30).

são necessárias. Dessa maneira, qualquer problema que requeira uma ação é rapidamente detectado. Chegando ao pátio de manobras, outra composição para o trim 1 está pronta, reiniciando o assim o ciclo de entrega. (Figura 5-31)

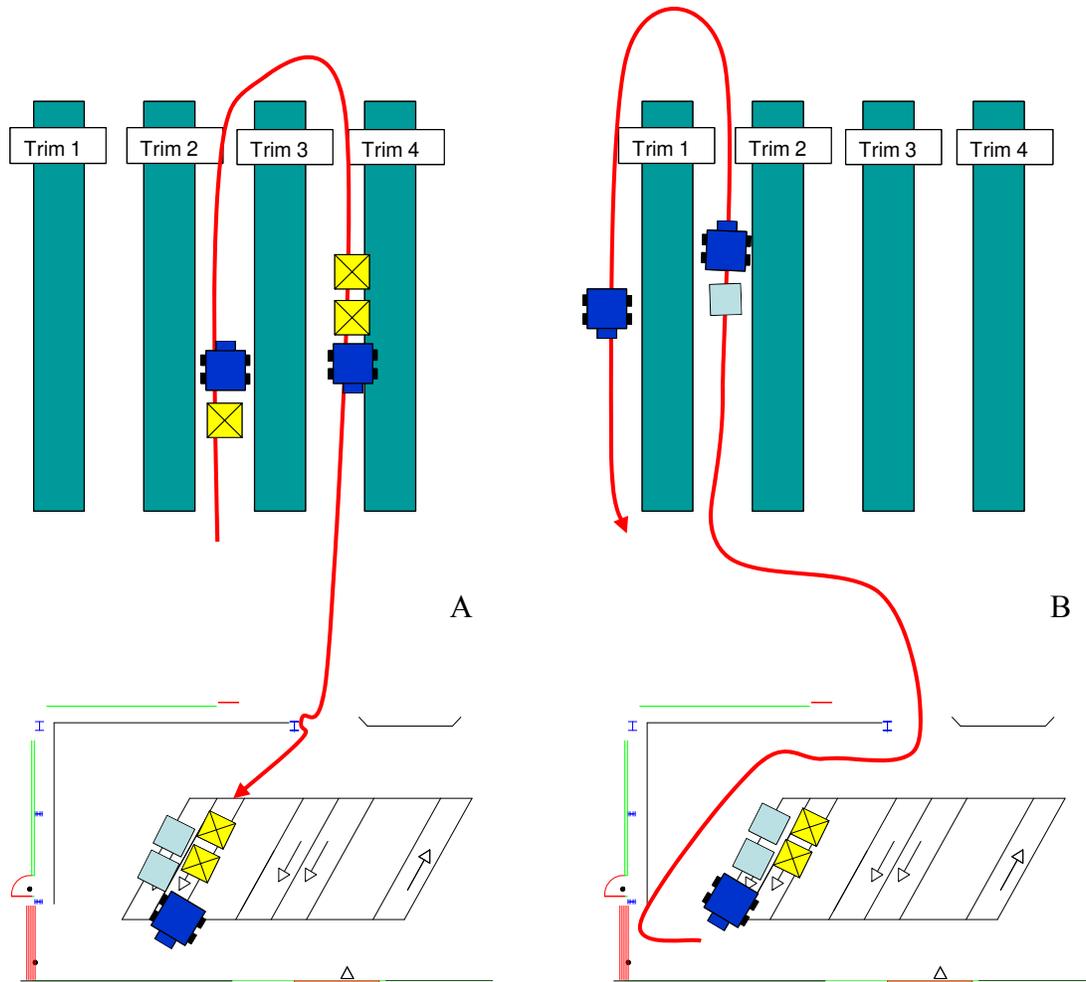


Figura 5-30: Rotas Alternadas – Seq. 3

Figura 5-31: Rotas Alternadas – Seq. 4

5.2.4 Estudo de Quarto Nível

Desdobramento

FR₂₁₁: Proteger Peças contra Danos

DP₂₁₁: Embalagem Padrão e Dedicada por Produto

Analisando DP_{211} , ainda não é possível identificar detalhes suficientes para a sua implementação, então um processo de *zag*, deve ser realizado. A decomposição é feita desdobrando DP_{211} em *FRs* de nível 211X.

Considerando que os desperdícios de movimentos do operador (OHNO, 1988) e desperdícios de embalagem dos materiais (BAUDIN, 2004; GOLDSBY, 2005), é possível afirmar que *Reduzir Manipulação* (FR_{2111}) é um requisito funcional importante. É possível minimizar esses desperdícios ao *Utilizar mesma Embalagem para Fábrica e para Cliente* (DP_{2111}).

No caso em específico de peças de aparência, contato com materiais inapropriados, vibração do transporte, movimento das embalagens na estrutura dinâmica, ou seja, qualquer fonte ação de atrito pode ser causa de perdas ou retrabalho. Portanto, para reduzir estes desperdícios, escolhe-se *Proteger Contra Choque* (FR_{2112}) como um requisito funcional importante. Experiências do fornecedor de embalagens e comparações entre embalagens de outros fornecedores do condomínio mostraram a presença de *Superfícies Não Agressivas* (DP_{2112}), como apoios acolchoados, coberturas emborrachadas, berços de espuma rígida.

ROTHER & HARRIS (2001) afirmam que a embalagem deve ser projetada para a comodidade do operador ou do cliente e nunca para a comodidade da armazenagem. Dessa forma, combate-se o desperdício dos movimentos do operador ao *Garantir Fácil Acesso às Peças* (FR_{2113}). Escolhe-se satisfazer esta *DP* através de embalagens com *Acesso Frontal* (DP_{2113}), de forma que o operador não precise debruçar sobre a embalagem, nem caminhar ao redor da embalagem para alcançar a peça que ele necessita ou colocar ou retirar da embalagem.

Em resumo, as *FRs* desdobradas de DP_{211} são:

FR_{2111} : *Reduzir Manipulação*

FR_{2112} : *Proteger contra Choques*

FR_{2113} : *Garantir Fácil Acesso às Peças*

As características desejadas para *Embalagem Padrão e Dedicada* são:

DP_{2111} : *Utilizar mesma Embalagem para Fábrica e para Cliente*

DP_{2112} : *Superfícies não Agressivas*

DP_{2113} : *Acesso Frontal*

Existe uma forte relação entre *Reduzir Manipulação* (FR_{2111}) e *Utilizar mesma Embalagem para Fábrica e para Cliente* (DP_{2111}), pois o operador manipula uma única vez e essa peça só será manuseada novamente na linha de montagem. No caso de um item pintado, existe um manuseio a mais.

Além disso, é uma medida usual na logística contar o número de manuseios de um produto (do inglês, *touches*), HARRIS (2004), quanto menos manuseio melhor. O *Acesso Frontal* (DP_{2113}) não reduz o número de manuseios, mas, uma vez que o operador não precisa dar voltas em torno da embalagem, é de se esperar que ele fique menos tempo com as peças em suas mãos, reduz-se o tempo de manipulação, evidenciando assim, uma dependência. Não é possível ver uma relação clara entre *Reduzir Manipulação* (FR_{2111}) e *Superfícies não Agressivas* (DP_{2112}), assume-se, portanto, independência. Dessa forma, FR_{2111} depende de DP_{2111} e DP_{2113} .

É evidente que *Proteger contra Choques* (FR_{2112}) tem uma forte relação tanto com *Superfícies não Agressivas* (DP_{2112}) e com *Acesso Frontal* (DP_{2113}), pois este último apresenta uma forma de manipulação que também reduz o risco de danos as peças durante a montagem. Dessa forma, FR_{2112} depende de DP_{2112} e de DP_{2113} .

Não é possível verificar qualquer dependência entre *Garantir Fácil Acesso às Peças* (FR_{2113}) com *Utilizar mesma Embalagem para Fábrica e para Cliente* (DP_{2111}) ou com *Superfícies não Agressivas* (DP_{2112}). Desse modo, FR_{2113} depende somente de DP_{2113} .

Em resumo, as *FRs* desdobradas de DP_{211} são:

$$\begin{Bmatrix} FR_{2111} \\ FR_{2112} \\ FR_{2113} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 & X \\ 0 & X & X \\ 0 & 0 & X \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} DP_{2111} \\ DP_{2112} \\ DP_{2113} \end{Bmatrix}$$

A matriz de projeto é não acoplada, assim, satisfaz o axioma da independência.

Implementação

A Figura 5-32 mostra exemplos de utilização de mesma embalagem dentro da fábrica e na linha de montagem, visando *Reduzir Manipulação*. A Figura 5-33 mostra exemplos de *Superfícies não Agressivas* para uma peça plástica não pintada, onde a peça é apoiada pela parte de baixo em uma espuma rígida.



Fábrica

Linha de Montagem

Figura 5-32: Exemplo de Embalagem Única para Fábrica e Cliente, Acesso Frontal



(1)



(2)

Figura 5-33: Superfícies Não-agressivas e Acesso Frontal

A Figura 5-34 (1) mostra embalagens para peças pintadas, onde não existe nenhum ponto de contato com a superfície pintada. A Figura 5-34 (2) mostra uma embalagem popularmente chamada de “sacolinha” (PASINI, 2007), onde as peças são colocadas numa colméia feita de um tecido semitransparente utilizado para sacolas de alta durabilidade.

Note também que em todos os casos mostrados nas Figura 5-32, Figura 5-33 e Figura 5-34 , todas as embalagens apresentam o *Acesso Frontal*.



(1)



(2)

Figura 5-34: Superfícies Não Agressivas

Desdobramento

***FR*₂₂₂: Garantir Rotatividade de Estoque**

DP*₂₂₂: Quadro Gestão Visual de Armazenagem com Sistema *FIFO

Analisando *DP*₂₂₂, ainda não é possível identificar detalhes suficientes para a sua implementação, então um processo de *zag*, deve ser realizado. A decomposição é feita desdobrando *DP*₂₂₂ em *FRs* de nível 222X.

Nessa etapa do desenvolvimento, deve-se também considerar que as embalagens vazias também estarão compartilhando o mesmo espaço na estrutura dinâmica. Isso resulta em dois requisitos diretos que são *Localizar as Embalagens com Facilidade* (*FR*₂₂₂₁), sejam elas cheias ou vazias, e *Manter a Seqüência de Embalagens Cheias e Vazias* (*FR*₂₂₂₂) de forma a se evitar movimentações desnecessárias.

Localizar as Embalagens com Facilidade (*FR*₂₂₂₁) é simplesmente atendida através de um *Cartão de Controle Visual para Embalagens* (*DP*₂₂₂₁), utilizando o princípio da gestão visual.

Manter a Seqüência de Embalagens Cheias e Vazias (FR₂₂₂₂) é necessária pois, as embalagens não podem ser colocadas de qualquer maneira, existindo a necessidade de se manter uma fila contínua em túneis separados, mantendo assim o *FIFO* mesmo em túneis diferentes através de uma fila virtual no quadro de controle visual. *FR₂₂₂₂* é garantida com uma *Lógica de Seleção de Túneis (DP₂₂₂₂)*, de modo que se preenche totalmente um túnel, então, move-se para o túnel seguinte. O sentido escolhido foi o da esquerda para a direita.

Levando também em consideração que o *Pátio de Manobras para o Cliente (FR₁₁)* irá requisitar embalagens cheias e o *Pátio de Manobras para Fábrica (FR₁₂)* irá requisitar embalagens vazias, e que esses dois processos podem acontecer algumas vezes simultaneamente, deve-se *Garantir a Disponibilidade de Embalagens Cheias (FR₂₂₂₃)*, para o cliente, e também *Garantir a Disponibilidade de Embalagens Vazias (FR₂₂₂₄)*, para fábrica, garantidas através de uma *Lógica de Entrada e Saída de Embalagens Cheias (DP₂₂₂₃)* e *Lógica para Entrada e Saída de Embalagens Vazias (DP₂₂₂₄)*. Essas lógicas se baseiam no fato que sempre um mesmo túnel estará sendo utilizado para retirar a embalagem vazia e colocar a embalagem cheia, ou, retirar a embalagem cheia e colocar a embalagem vazia, assim que o túnel é preenchido ou esvaziado, move-se para o próximo túnel.

Em resumo, as *FRs* desdobradas de *DP₂₂₂* são:

FR₂₂₂₁: Localizar Embalagens com Facilidade

FR₂₂₂₂: Manter Seqüência de Embalagens Cheias e Vazias

FR₂₂₂₃: Garantir Disponibilidade de Embalagens Cheias

FR₂₂₂₄: Garantir Disponibilidade de Embalagens Vazias

As *DPs* correspondentes são:

DP₂₂₂₁: Cartão de Controle Visual para Embalagens

DP₂₂₂₂: Lógica de Seleção de Túneis

DP₂₂₂₃: Lógica de Entrada e Saída de Embalagens Cheias

DP₂₂₂₄: Lógica para Entrada e Saída de Embalagens Vazias

Para *Localizar Embalagens com Facilidade (DP₂₂₂₁)* basta somente olhar o *Cartão de Controle Visual (FR₂₂₂₁)* para saber quais são as embalagens cheias e quais são as embalagens

vazias. A *Lógica de Entrada e Saída de Embalagens Cheias e Lógica para Entrada e Saída de Embalagens Vazias* completam a informação de onde a embalagem deve ser retirada ou colocada e se túneis deve ser selecionados para manter o *FIFO* lógico. Dessa forma, FR_{2221} é dependente de DP_{2221} , DP_{2222} , DP_{2223} e DP_{2224} .

Para *Manter a Seqüência de Embalagens Cheias e Vazias* (FR_{2222}) basta verificar se a movimentação dentro do túnel foi finalizada, e reposicionar as setas indicativas dos túneis a serem utilizados, movimentando-as da esquerda para a direita. Todo esse processo independe *Cartão de Controle Visual para Embalagens*, pois não é necessário verificar onde estão as embalagens cheias e vazias para reposicionar as setas indicativas dos túneis. A *Lógica de Entrada e Saída de Embalagens Cheias* (DP_{2223}) e *Lógica para Entrada e Saída de Embalagens Vazias* (DP_{2224}) só podem ser iniciadas após a verificação e reposicionamento dos túneis a serem utilizados. Dessa forma, FR_{2222} é dependente também de DP_{2222} , DP_{2223} e DP_{2224} .

Uma vez já foi localizada a embalagem se quer movimentar, selecionada os túneis de que devem ser utilizados, basta seguir as setas indicativas da lógica de entrada e saída das embalagens. Dessa forma. Dessa forma, *Garantir Disponibilidade de Embalagens Cheias* (FR_{2223}) só depende da *Lógica de Entrada e Saída de Embalagens Cheias* (DP_{2223}). Analogamente, *Garantir Disponibilidade de Embalagens Vazias* (FR_{2224}) somente depende da *Lógica para Entrada e Saída de Embalagens Vazias* (DP_{2224}).

A equação e a matriz de projeto é definida como:

$$\begin{Bmatrix} FR_{2221} \\ FR_{2222} \\ FR_{2223} \\ FR_{2224} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & X & X & X \\ 0 & X & X & X \\ 0 & 0 & X & 0 \\ 0 & 0 & 0 & X \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} DP_{2221} \\ DP_{2222} \\ DP_{2223} \\ DP_{2224} \end{Bmatrix}$$

A matriz de projeto é desacoplada, assim, satisfaz o axioma da independência.

Implementação DP_{2222} , DP_{2223} , DP_{2224}

O objetivo do quadro *FIFO* desenvolvido é manter uma lógica de entrada e saída de embalagens cheias e vazias, em vários túneis de armazenagem contíguos. A quantidade de embalagens de uma dada peça determina a quantidade de túneis a serem utilizados. (Figura 5-35)

Os controles visuais foram desenvolvidos para se possibilitar a localização das embalagens tanto quanto para se operacionalizar uma lógica que comporte o *FIFO* de embalagens cheias compartilhando túneis com embalagens vazias (Figura 5-35). As setas de entrada estão localizadas na parte superior do quadro indicando qual túnel as embalagens devem ser colocadas. A seta azul escura é a seta de entrada de embalagens cheias e a seta azul claro é a seta de entrada de embalagens vazias.

Similarmente, na parte inferior do quadro, existem mais duas setas. Porém estas são utilizadas para a retirada tanto de embalagens vazias quanto para embalagens cheias. As embalagens cheias são simbolizadas por cartões com um círculo preto; as embalagens vazias são simbolizadas somente por uma circunferência. (Figura 5-35)

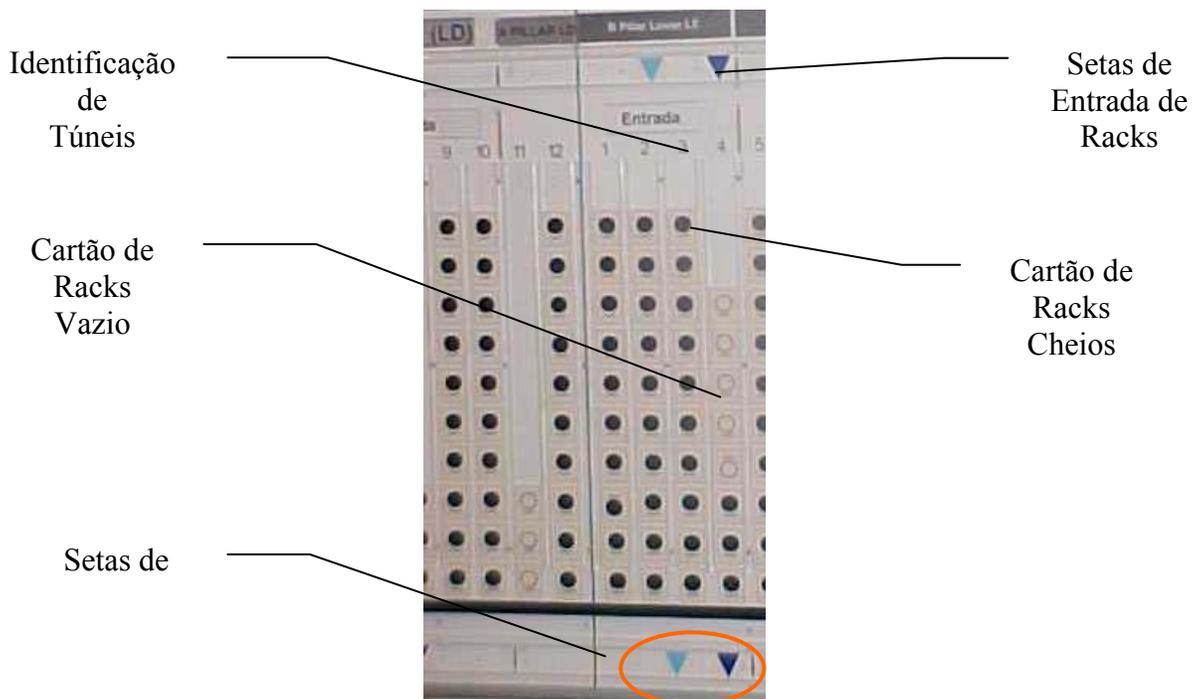


Figura 5-35: Setas de Saídas de Embalagens Cheias e Vazias

Foi estabelecido o sentido de movimentação dos túneis no quadro da esquerda para a direita, isto é, tanto as setas de entradas de racks vazios e cheios quanto as setas de saída de racks vazios e cheios são movimentadas nesse sentido. Por exemplo, se uma peça utiliza os túneis de 2 a 5, as setas são movimentadas no sentido crescente dos túneis e quando as mesmas chegam ao túnel número 5, elas retornam ao túnel inicial, número 2.

Supondo que a condição da Figura 5-36 seja a condição inicial do sistema de armazenagem no momento do início da produção. Nesse instante será iniciada a retirada de embalagens vazias que serão disponibilizadas no pátio de manobras para a fábrica.

O operador localiza o embalagem vazia a ser retirada pela seta de saída de embalagens vazias (seta azul claro, parte inferior), retirando assim a primeira embalagem do túnel 3 e o cartão de embalagem vazia. Como todo o sistema trabalha em forma de substituição (mesma embalagem cheia é trocada pela vazia), operador vai ao pátio de manobras, retira a embalagem cheia da *dolly* e verifica em que posição no quadro ela deve ser colocada, túnel 3. (Figura 5-37)

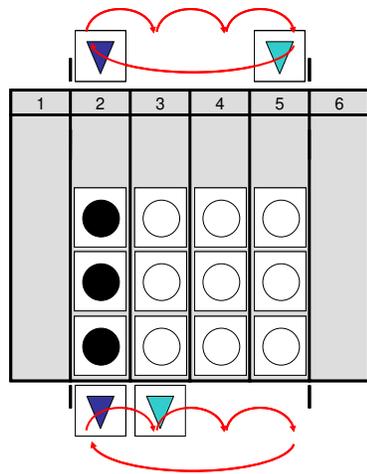


Figura 5-36: Sentido de Movimentação da Setas de Entrada e Saída

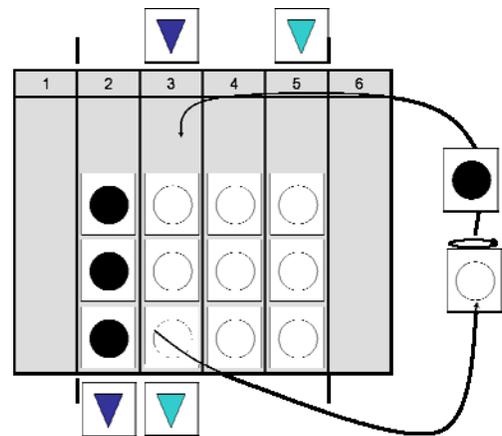


Figura 5-37: Quadro de FIFO – Seq. 1

Esse processo se repete até que o túnel 3 seja preenchido. Quando isso acontece, a seta de entrada de embalagens cheias (que estava no túnel 3), deve ser movimentada para o túnel 4, uma vez que a quantidade de cartões na caneleta do túnel no quadro, possui a mesma quantidade de embalagens da estrutura de armazenagem. (Figura 5-38)

É importante notar que os dois processos de atendimento podem estar ocorrendo simultaneamente, isto é, ao mesmo tempo em que existe a fábrica requisitando embalagens vazias e devolvendo embalagens cheias a serem armazenadas, existe outro, no cliente, requisitando embalagens cheias para a linha de montagem e devolvendo embalagens vazias.

Quando uma embalagem vazia volta da linha de montagem, o operador do pátio de manobras para a linha de montagem remove a embalagem das *dollies*, passa pelo quadro e

verifica a posição onde a embalagem vazia deve ser armazenada. O operador então retira o cartão de embalagem cheia do quadro no túnel 2, vira o cartão para o lado da embalagem vazia, e coloca o cartão na parte superior do quadro no túnel 2. (Figura 5-39)

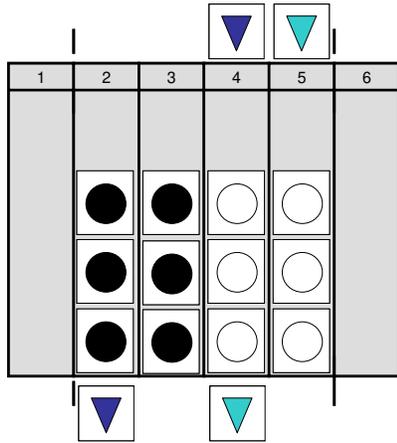


Figura 5-38: Quadro de FIFO – Seq. 2

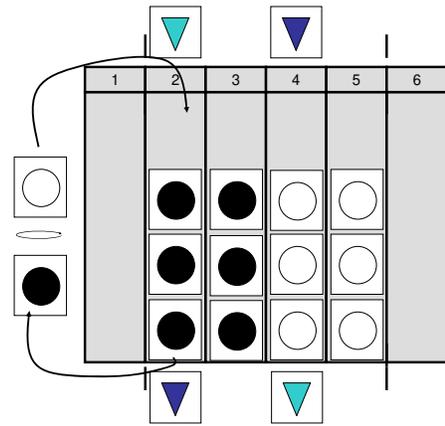


Figura 5-39: Sistema FIFO –
Atendendo Cliente

Conforme o lote vai sendo produzido, o supermercado vai sendo preenchido com embalagens cheias. A Figura 5-40 mostra o túnel 4 preenchido, sendo que a seta de entrada de embalagens vazias volta para o túnel inicial, após preencher o túnel 5, conforme Figura 5-41.

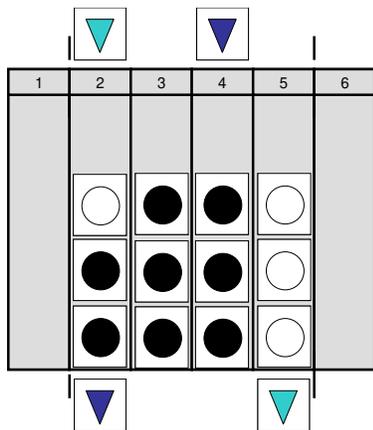


Figura 5-40: Continuação da Produção

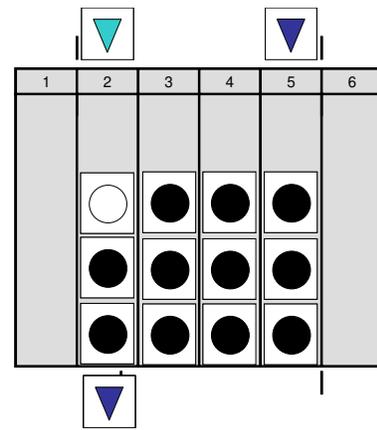


Figura 5-41: Final do Lote de Produção

Na próxima etapa, mostrada na Figura 5-41, o lote de produção é finalizado e o supermercado pode ficar completo ou quase completo.

Desdobramento

FR₂₂₁: Reduzir Área Ocupada

DP₂₂₁: Alta Densidade de Armazenagem

Analisando DP_{221} , ainda não é possível identificar detalhes suficientes para a sua implementação, então um novo processo de *zag*, deve ser realizado. A decomposição é feita desdobrando DP_{221} em *FRs* de nível 221X.

Quando se analisa fisicamente a DP_{221} , vê-se que um local de armazenagem é basicamente constituído de corredores para a movimentação de empilhadeiras e da própria estrutura de armazenagem em si. Dessa forma, é evidente que se busque *Maximizar Capacidade da Estrutura de Armazenagem* (FR_{2211}) e também *Minimizar Tamanho de Corredores de Armazenagem* (FR_{2212}).

Escolhe-se, então, como forma de satisfazer FR_{2211} utilizar *Estruturas Dinâmicas* (DP_{2211}), pois são estruturas que oferecem alto aproveitamento de área (BAUDIN, 2004), se comparado com estruturas convencionais de armazenagem, como porta-*pallets*. Comparando Figura 5-42 e a Figura 5-43 é possível notar claramente que aproveitamento de área de armazenagem quando se utiliza *Estruturas Dinâmicas*.

Para, no entanto, reduzir a área de corredores é necessário que os equipamentos de movimentação sejam capazes de operar em áreas reduzidas. Uma solução disponível no mercado são as *Empilhadeiras Elétricas com Baixo Raio de Giro e com Torre Retrátil* (DP_{2212}). As empilhadeiras elétricas são menores que as empilhadeiras à combustão e possuem baixo raio de giro, podendo assim fazer curvas bem mais fechadas e trafegando bem em corredores mais estreitos. A torre retrátil reduz ainda mais a necessidade de espaço, pois durante a movimentação horizontal, o comprimento da empilhadeira fica também reduzido, facilitando o movimento de curva nos corredores e o movimento de curva para acessar a estrutura dinâmica nas operações de carga e descarga.

Em resumo, as *FRs* desdobradas de DP_{221} são:

FR₂₂₁₁: Maximizar Capacidade da Estrutura de Armazenagem

FR₂₂₁₂: Minimizar Tamanho de Corredores de Armazenagem

As *DPs* correspondentes são:

DP₂₂₁₁: Estruturas Dinâmicas

DP₂₂₁₂: Empilhadeiras Elétricas com Baixo Raio de Giro e com Torre Retrátil

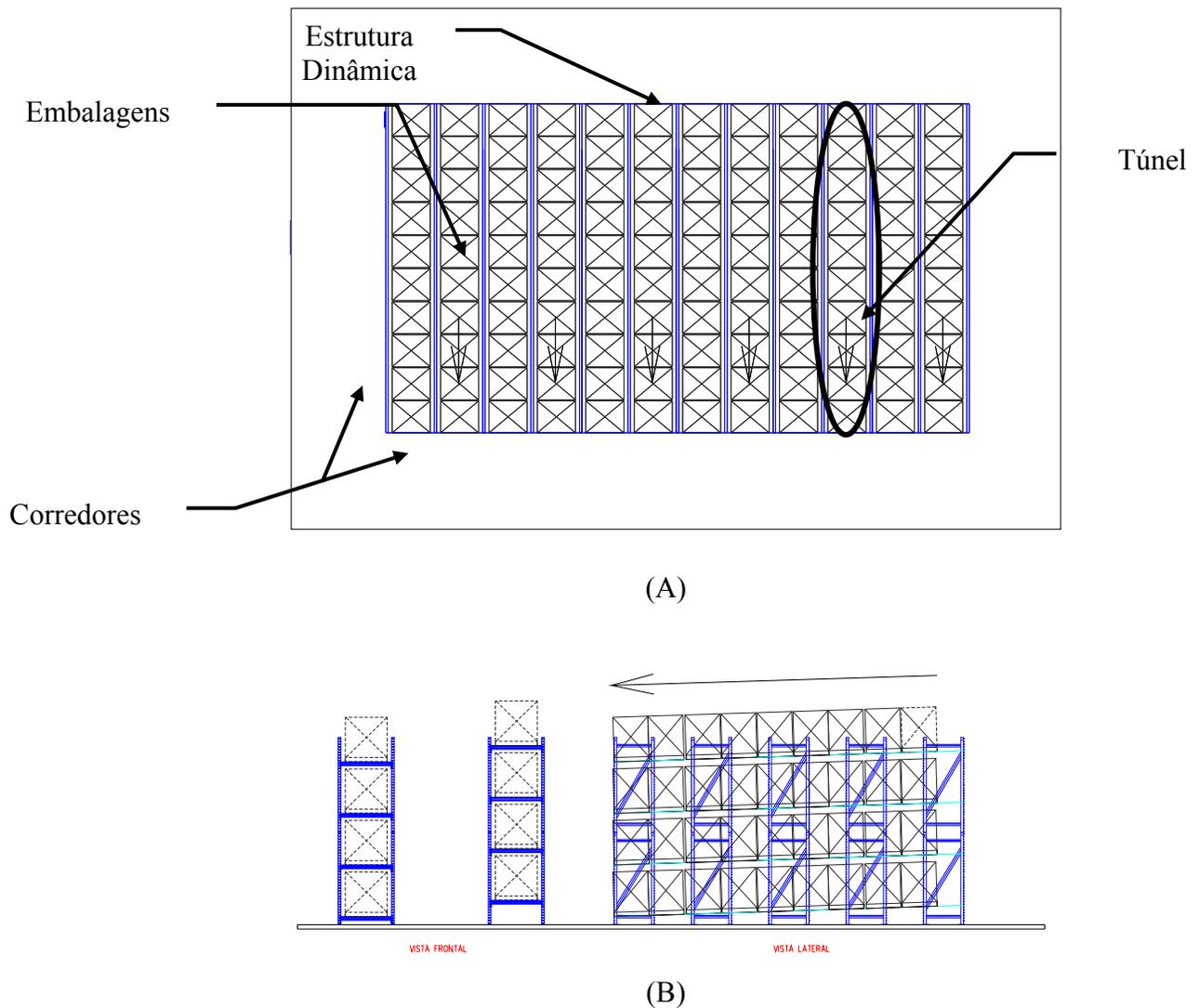


Figura 5-42: Estruturas Dinâmicas ou Flow Rack (A – Vista Superior, B – Vista Frontal e Lateral)

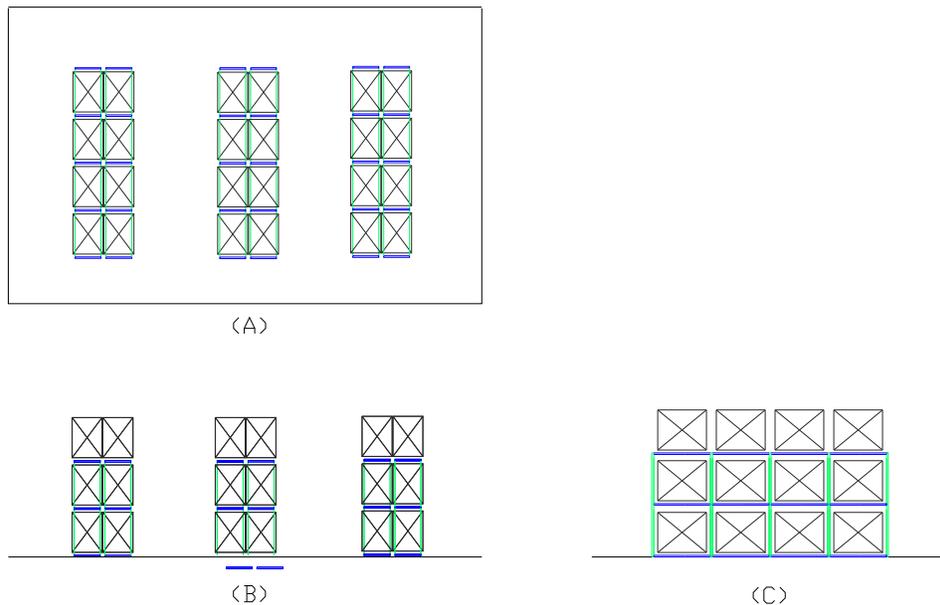


Figura 5-43: Estrutura de Armazenagem – Porta Pallet (A – Vista Superior, B – Vista Lateral, C – Vista Frontal)

Analisando a dependência, fica evidente, que existe uma forte relação *Maximizar Capacidade da Estrutura de Armazenagem* (FR_{2211}) e *Estruturas Dinâmicas* (DP_{2211}). Além disso, se reduzirmos a necessidade de área de corredores, pode-se ampliar ainda mais a capacidade de armazenagem da estrutura, uma vez que podemos colocar mais túneis em uma mesma área. Dessa forma, existe também uma dependência entre *Maximizar Capacidade da Estrutura de Armazenagem* (FR_{2211}) e *Empilhadeiras Elétricas com Baixo Raio de Giro e com Torre Retrátil* (DP_{2212}). Em resumo, FR_{2211} depende de DP_{2211} e de DP_{2212} .

O uso de *Empilhadeiras Elétricas com Baixo Raio de Giro e com Torre Retrátil* (DP_{2212}) permite *Minimizar Área de Corredores de Armazenagem* (FR_{2212}) pelos motivos já citados. Ao se utilizar estruturas dinâmicas, porta-pallets ou outras estruturas, não existe impacto tamanho do corredor, pois se percebe que o tamanho do corredor é basicamente função das características do equipamento de movimentação (comprimento, raio de giro etc). Dessa forma, FR_{2212} não depende de DP_{2211} . Em resumo, FR_{2212} é dependente somente de DP_{2212} .

A equação e a matriz de projeto é definida como:

$$\begin{Bmatrix} FR_{2211} \\ FR_{2212} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & X \\ 0 & X \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} DP_{2211} \\ DP_{2212} \end{Bmatrix}$$

A matriz de projeto é não acoplada, assim, satisfaz o axioma da independência.

Implementação

FR₂₂₁₁: Maximizar Capacidade da Estrutura de Armazenagem

DP₂₂₁₁: Estruturas Dinâmicas

Pode-se verificar a grande capacidade de armazenagem para *Estruturas Dinâmicas* (Figura 5-44). Os corredores mostrados na Figura 5-45 são de 2,5 a 3m. O tamanho de corredor necessário para uma empilhadeira convencional para fazer carga e descarga pode variar de 4m a 5m. HARRIS (2004) apresenta os *Racks em Fluxo* ou as *Estruturas Dinâmicas* como uma boa forma de armazenagem, no entanto, como estamos lidando com peças grandes e, conseqüentemente, também com embalagens grandes, o conceito de movimentação manual não pode ser aplicado e a movimentação vertical deve ser feita com empilhadeiras.

É preferível armazenar as embalagens com mais freqüência de uso nos níveis inferiores da estrutura, uma vez que se reduz ainda mais a necessidade de levantar e descer embalagens e, também, nas áreas mais próximas ao pátio de manobras, reduzindo a distância para as embalagens de consumo mais freqüente.



Figura 5-44: *Racks em Fluxo ou Estruturas Dinâmicas*



Figura 5-45: *Estrutura Dinâmicas - Corredores*

FR₂₂₁₂: Minimizar Tamanho de Corredores de Armazenagem

DP₂₂₁₂: Empilhadeiras Elétricas com Baixo Raio de Giro e com Torre Retrátil

Enquanto empilhadeiras comuns possuem movimentação da torre somente no eixo Z e α_+ , com empilhadeiras elétricas laterais, é possível movimentar a embalagem em outros eixos. (Figura 5-46)

Em uma operação de carga e descarga pode-se alinhar os garfos da empilhadeira no Eixo X sem movimentar a empilhadeira em relação ao solo. Com a torre retrátil é possível reduzir a distância dos corredores (Eixo Y), pois o raio de giro da empilhadeira para realizar a carga ou descarga fica bastante reduzido. Se estivermos utilizando uma estrutura dinâmica, pode-se utilizar o eixo α positivo e negativo para a retirada e colocação da embalagem na estrutura, pois a pista do túnel é inclinada.

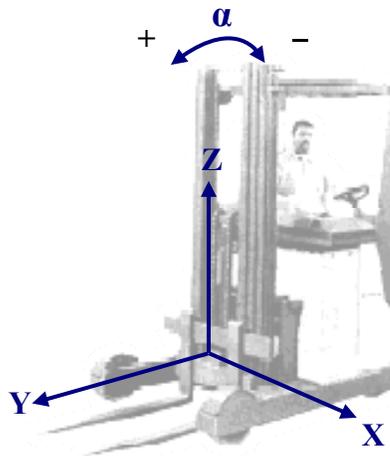


Figura 5-46: Eixos de Movimentação da Torre

5.2.5 Estudo do Quinto Nível

FR₂₂₂₁: Localizar Embalagens Com Facilidade

DP₂₂₂₁: Cartão de Controle Visual de Embalagens

Analisando DP_{2221} , ainda não é possível identificar detalhes suficientes para a sua implementação, então um novo processo de *zag*, deve ser realizado. A decomposição é feita desdobrando DP_{2221} em FRs de nível 2221X.

O Cartão de Controle Visual de Embalagens deve basicamente dizer nas posições dentro da estrutura dinâmica onde existem embalagens cheias ou em quais posições estão as embalagens vazias, dessa forma, é evidente que as *FRs* a serem desdobradas são *Localizar Embalagem Cheia* (FR_{22211}) e *Localizar Embalagem Vazia* (FR_{22212}).

Para satisfazer *Localizar Embalagem Cheia* (FR_{22211}) e *Localizar Embalagem Vazia* (FR_{22212}), respectivamente, recorre-se novamente ao princípio *Lean* da Gestão Visual, e escolhe-se trabalhar com um cartão de duas faces diferenciadas, uma face é *Cartão de Embalagem Cheia* (DP_{22211}) e a outra face é *Cartão de Embalagem Vazia* (DP_{22212}).

As *FRs* desdobradas de DP_{22211} são:

FR_{22211} : *Localizar Embalagem Cheia*

FR_{22212} : *Localizar Embalagem Vazia*

As *DPs* correspondentes são:

DP_{22211} : *Cartão de Embalagem Cheia*

DP_{22212} : *Cartão de Embalagem Vazia*

Pode-se verificar que não existe nenhuma dependência fora da diagonal da equação de projeto, visto que, para localizar a embalagem cheia, não é necessário o cartão da embalagem vazia; e para localizar a embalagem vazia não é necessário localizar a embalagem cheia. Em resumo, FR_{22211} depende somente de DP_{22211} e FR_{22212} depende somente de DP_{22212} .

A equação e a matriz de projeto é definida como:

$$\begin{Bmatrix} FR_{22211} \\ FR_{22212} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X & 0 \\ 0 & X \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} DP_{22211} \\ DP_{22212} \end{Bmatrix}$$

A matriz de projeto é não acoplada, assim, satisfaz o axioma da independência.

Implementação

DP_{22211} : Cartão de Embalagem Cheia

DP_{22212} : Cartão de Embalagem Vazia

Características com altura, quantidade de túneis e dimensão de um sistema de armazenagem dinâmico impedem a visualização da embalagem quando a mesma é colocada em

seu interior. Assim, o quadro de controle deve comunicar, através de cartões para embalagem cheia e cartões para embalagens vazias, a localização real dessas embalagens na estrutura.

O sinal visual utiliza uma simbologia de cartão com um círculo preenchido em uma das faces e com um círculo em branco na outra face, representando, respectivamente, a embalagem cheia e embalagem vazia. SUH (2001), no Corolário 3, afirma que as partes física podem ser integradas uma vez respeitada a independência.

O quadro *FIFO* (Figura 5-47) deve ser um espelho da situação da estrutura dinâmica, indicando em quais túneis podem ser armazenadas as peças e qual a seqüência de túneis a ser utilizada, onde colocar e retirar as embalagens cheias e vazias. Na superfície do quadro existem canaletas que representam os túneis da estruturas, nas quais são colocadas os cartões de embalagens cheias e os cartões de embalagens vazias. Estes, por sua vez, deslizam por gravidade até a parte inferior do quadro a cada movimentação dos cartões.

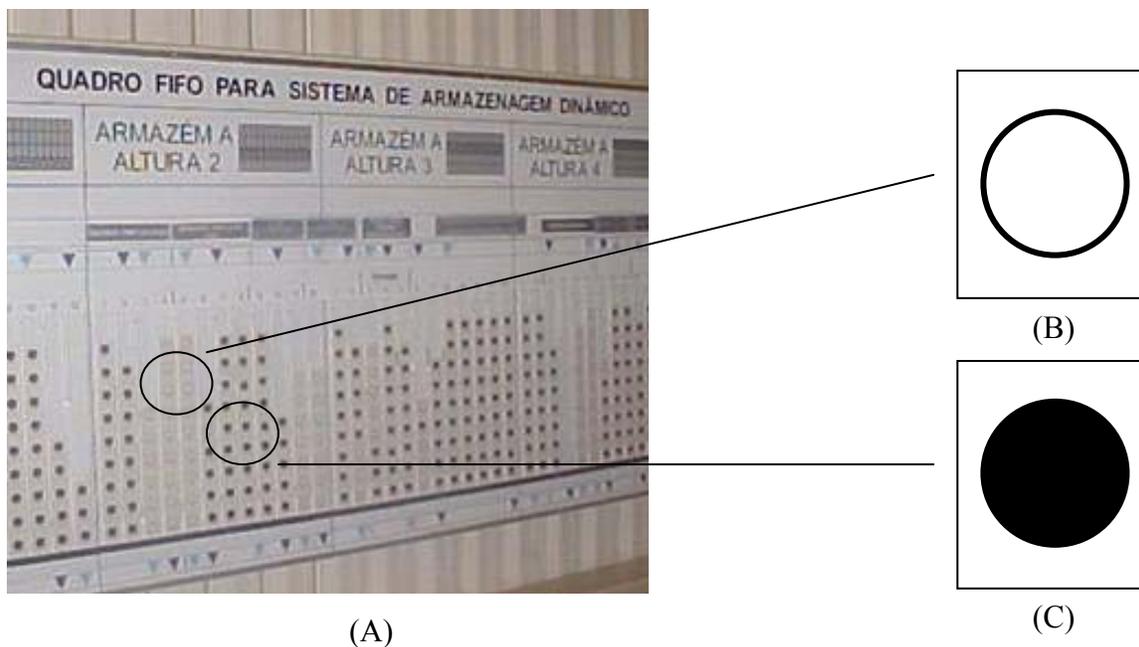


Figura 5-47: Quadro FIFO para Armazenagem Dinâmica (A) e Cartões de Embalagem Vazia (B) e Cheia (C)

Dado o nível atual de detalhamento, chega-se a um ponto em que todas as *DPs* já puderam ser implementadas, dessa forma, considera-se o projeto finalizado. A Figura 5-48 mostra a árvore de projeto obtida.

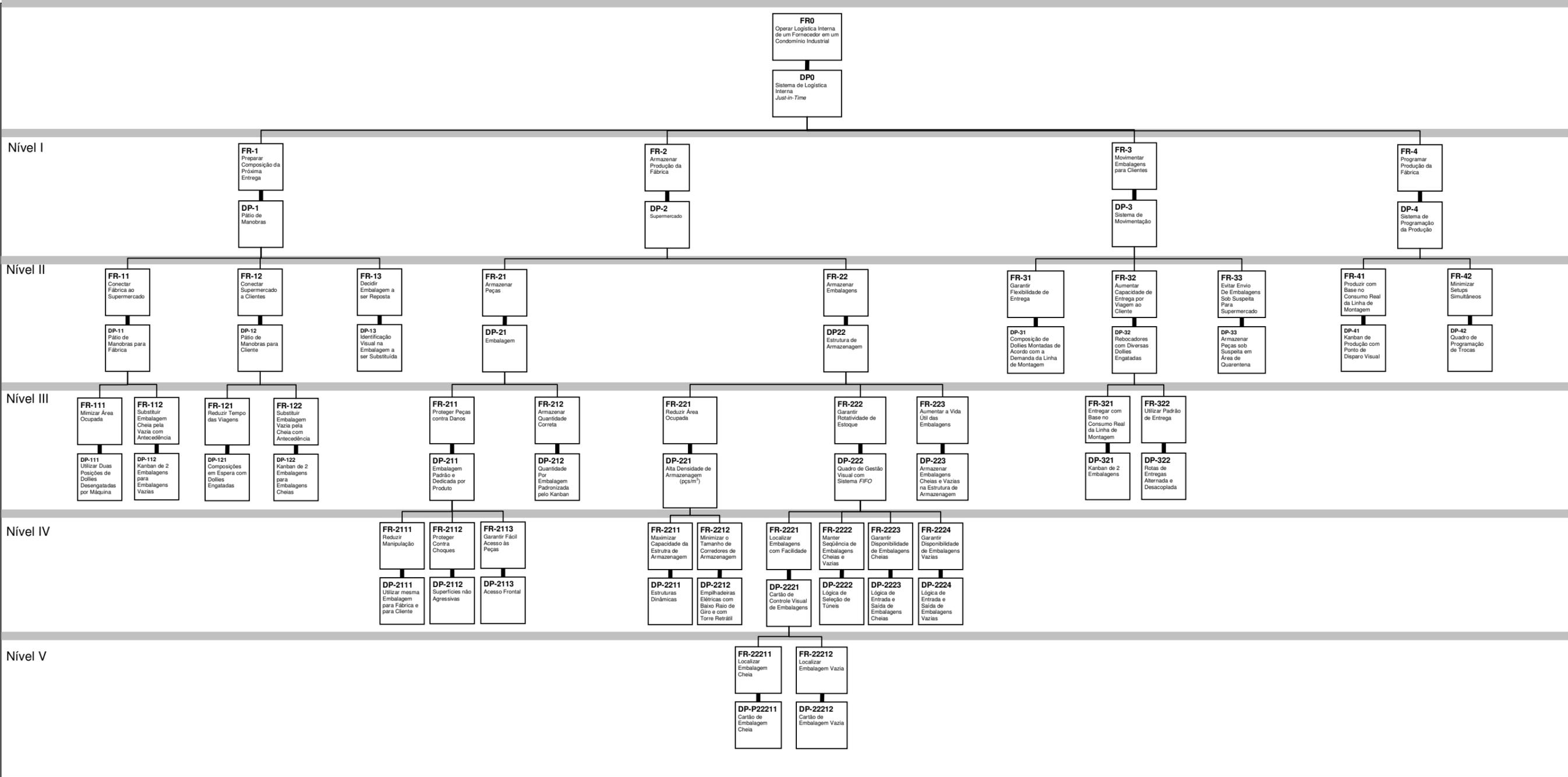


Figura 5-48: Árvore de Projeto para FRs e DPs

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo faz uma análise quantitativa e qualitativa dos resultados obtidos, utilizando para isso, indicadores de desempenho da logística e uma avaliação prática das *FRs* e *DPs* implementadas, respectivamente.

Analisando os resultados quantitativos, para se avaliar o desempenho final do projeto de logística interna, são comparados 2 indicadores: *Desempenho de Entrega na Linha de Montagem e Estoque em Processo*¹⁸. Estes indicadores são coletados, monitorados e divulgados pela própria montadora e são parte de um grupo de indicadores utilizados para controlar o desempenho dos fornecedores no complexo.

O indicador *Desempenho de Entrega na Linha de Montagem* registra o número de vezes que algum produto não foi entregue na linha de montagem, seja causando uma montagem incompleta, seja causando paradas de linha. É uma medição 100% dos veículos montados, realizado e divulgado pela montadora mensalmente.

O gráfico mostrado na Figura 6-1 mostra uma série temporal com o comportamento deste indicador durante 3 anos, com produção mensal praticamente constante. Pode-se claramente observar que o número de falhas na entrega melhora consistentemente ano a ano. A média de falhas no primeiro ano foi em torno de 60 falhas por mês (linha da média, Figura 6-1). Para o segundo ano, esse valor foi de 10 falhas por mês e para o terceiro foi de 0. Essa melhoria gradativa se deve ao pelo fato de que a planta tanto do fornecedor quanto da montadora, serem plantas recém iniciadas, uma vez que o desempenho da logística também é dependente do desempenho técnico da produção e de seu aprendizado visto neste mesmo processo de partida.

Após a fase de aprendizado - comparando-se os meses de 1 a 13, 14 a 24 e após o mês 25 - pode-se verificar que os resultados globais da logística para o cliente são realmente significativos, ainda mais considerando o número de movimentações e entregas diárias dentro da planta do fornecedor e na linha de montagem do cliente.

¹⁸ Para a montadora Estoque em Processo significa Estoque em Processo na Produção do Fornecedor somado ao Estoque de Produto Acabado para atender a linha de montagem

Desempenho de Entrega na Linha de Montagem

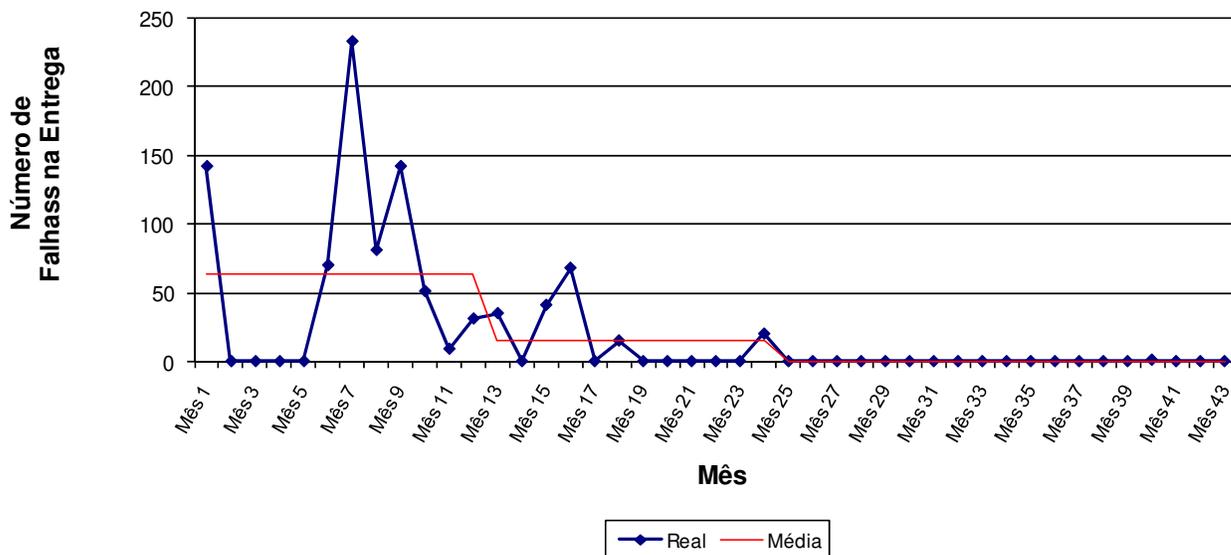


Figura 6-1: Desempenho de Entrega na Linha de Montagem

Sempre que se compara o *Desempenho de Entrega*, é importante também medir qual é o nível de *Estoque em Processo* (Figura 6-2) que se está exigindo para manter este desempenho. A comparação entre estes 2 indicadores também mostra o bom desempenho da logística interna desenvolvido. Pode-se observar na que a logística interna opera em uma faixa especificada de 0,5 dias a 2 dias, conforme especificado em projeto do complexo. Estes valores são bastante baixos, especialmente se consideramos a grande variedade de produtos que a planta fornece. É possível verificar que praticamente todos os modelos apresentam um comportamento de seu estoque que varia dentro das faixas especificadas.

Vale lembrar também que, pela mesma razão mencionado para o gráfico anterior, existe um fator de partida da planta onde, em geral, todos os modelos aparecem com o estoque em processo acima dos 2 dias estabelecidos, observado nos meses iniciais do gráfico. Outro ponto que merece atenção neste gráfico, além da partida da planta, é a partida de novos modelos, observada pelo modelo 2, a partir do mês 17 ao mês 27. Feitas estas ressalvas, o sistema opera perfeitamente dentro da especificação.

Estoque em Processo

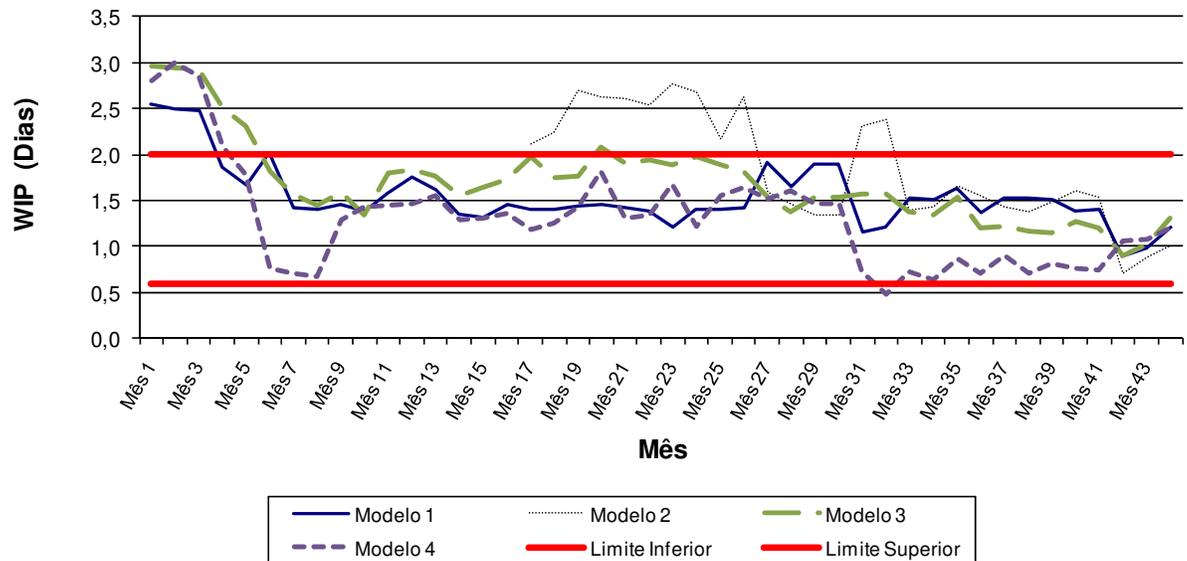


Figura 6-2: Desempenho de Entrega na Linha de Montagem

Outro resultado que deve ser avaliado é a mão-de-obra direta e indireta necessária para a operação da logística, apresentada na Tabela 6-1. Toda a operação logística é realizada com um quadro total de 28 pessoas, sendo 5 funcionários da própria empresa e 24 terceirizados através do 3PL. Dentro das atividades dessas 5 pessoas da empresa também estão compreendidas as atividades de recebimento e planejamento de matérias-primas. A proporção *mão-de-obra indireta, mão-de-obra direta* (MOI / MOD) é de aproximadamente 1 para 3 (8 indiretos para 21), considerando a mão de obra do 3PL e do fornecedor .

Analisando ainda a Tabela 6-1, existem 900 operações de carga e descarga por dia, sendo que, 500 são para o atendimento às áreas produtivas e 400 para o atendimento à linha de montagem do cliente, em que cada operador realiza um total de 150 operações de carga e descarga por dia e os operadores para rota de abastecimento para linha de montagem e para a rota de abastecimento interna realizam 44 e 55 rotas por dia, respectivamente.

Tabela 6-1: Mão de Obra para Operação Logística

<i>Operação</i>	<i>Tipo da Mão de Obra</i>	<i>Número de Operações por dia</i>	<i>Operadores por turno</i>	<i>Turnos de Operação</i>	<i>Operações por Operador</i>	Total
Operações de Carga e Descarga da Estrutura de Armazenagem	Direta e 3PL	900	3	2	150	6
Rotas de Abastecimento Externas (para a linha de montagem)	Direta e 3PL	133	3	2	44	6
Rotas de Abastecimento Internas (para a fábrica)	Direta e 3PL	166	2	3	55	6
Supervisão (3PL)	Indireta e 3PL	NA	NA	1	NA	3
Programação da Produção ¹⁹	Direta (3PL, Interna)	50	NA	3	NA	3
Controle de Envio	Indireto 3PL	NA	NA	1	NA	1
Engenheiro de Logística	Indireto Interna	NA	1	3	NA	3
Gerente de Logística	Indireto Interna	NA	1	1	1	1
TOTAL						29

Dada a magnitude da operação, considerando-se ainda a reduzida mão-de-obra utilizada, o baixo nível de estoque e o alto nível de atendimento obtido, pode-se dizer que o este sistema de logística é um projeto bem sucedido. Como esta é uma planta que não existia antes, não é

¹⁹ Programação da Produção é realizada pelos Técnicos da Produção e pelos operadores, não sendo contabilizados no quadro da logística.

possível fazer uma comparação direta de produtividade, pois não se tem uma situação do “antes” a ser comparada.

A seguir faz-se uma análise qualitativa das soluções desenvolvidas e das dificuldades durante a fase de implementação e as principais dificuldades encontradas.

Pátio de Manobras

Durante a fase de implementação as DP_{111} : “Utilizar 2 Posições Desengatadas por Máquina” e DP_{112} “*Kanban* de 2 Embalagens para Embalagens Vazias” foram bem sucedidas na grande maioria dos postos de trabalho. Alguns postos de trabalho, devido a elevada frequência de consumo, precisaram ter mais de 2 embalagens em espera, pois em alguns períodos do trabalho, a máquina tinha que ser parada devido a falta de embalagens disponíveis no posto de trabalho. A DP_{13} “Identificação Visual na Embalagem a ser Substituída” se mostrou necessária, não apresentou dificuldades, sendo mantida conforme originalmente previsto em projeto.

Armazenar Produção da Fábrica

DP_{2111} “Utilizar mesma embalagem para Fábrica e para o Cliente” se mostrou perfeitamente viável e necessária para o ambiente em questão. A DP_{2112} “Acesso Frontal” teve êxito, mas alguns layouts de posto de trabalho tiveram que ser modificados, pois, nem sempre o posicionamento considerado no layout da fábrica era o frontal com o da linha de montagem do cliente.

DP_{22211} “Cartão de Embalagem Cheia” e DP_{22212} – “Cartão de Embalagem Vazia” foi a solução final depois de realizado um período de testes onde o cartão de embalagem cheio era o próprio *kanban* de produção foi descartado. Este último fazia com que erros na armazenagem, se propagassem pelo planejamento de produção da fábrica, reduzindo a confiabilidade geral da fábrica e do sistema logístico para o cliente.

DP_{213} “Quantidade por Embalagem Padronização pelo *Kanban*” sem mostrou bem sucedida, porém foi necessário maior tempo de acompanhamento e informação aos operadores para que a quantidade prevista fosse respeitada.

DP_{2211} “Estrutura Dinâmicas” e DP_{2212} “Empilhadeiras Elétricas com Baixo Raio de Giro e com torre retrátil” apresentaram êxito, realmente propiciando uma elevada densidade de armazenagem para as peças em questão. No entanto, com um espaço bastante limitado, foi

necessária a instalação de proteções no piso de forma a evitar colisões do equipamento com a estrutura de armazenagem.

DP₂₂₂ “Lógica de movimentação entre túneis”, *DP₂₂₂₃* “Lógica de entrada e saída de embalagens cheias”, *DP₂₂₂₄* “Lógica de entrada e saída de embalagens vazias” foram inicialmente avaliadas como um processo de grande complexidade e com possibilidade de erros por parte da operação. A aparente complexidade deste procedimento não se confirmou na prática, e os operadores logísticos se ajustavam ao sistema em poucos dias de trabalho.

Sistema de Movimentação

DP₃₁ “Composição de *dollies* montadas de acordo com a demanda do cliente” se mostrou eficaz e fundamental, pois apesar de uma demanda razoavelmente previsível na semana, existiam imensas variações de mix dentro do dia e estas variações são cada vez maiores conforme se reduz a janela de tempo. Para manter somente 1h de peças na linha com mix extremamente variável, esta *DP* se mostrou eficaz.

DP₃₁₂ “*Kanban* de Embalagem” e *DP₃₂₂* “Rotas de Entregas Alternadas e Desacopladas” se demonstraram efetivas, especialmente nos freqüentes momentos de variação instantânea de mix de produção na linha do cliente. Estas *DPs* foram mantidas como originalmente prevista no projeto.

É virtualmente impossível, durante a rápido processo de entrega de produtos, perceber eventuais problemas de qualidade. Desta forma, *DP₃₃* “Armazenar peças sob suspeita em área de quarentena” foi mantida, assim como prevista no projeto original.

Sistema de Programação da Produção

DP₄₁ “Sistema de Puxar com Ponto de Disparo Visual” e *DP₄₂* “Quadro de Programação de Troca de Moldes”, se mostraram efetivos e foram mantidos conforme projeto original, uma vez que a o baixos estoques aliado grande variação de mix horário na linha foi muito maior do que a considerada em projeto. Somente com o uso desta *DP*, pôde-se garantir que o que estava sendo produzido era realmente o que estava sendo efetivamente consumido. Somente uma alteração realizada foi a adição de um código de cores para cada peça (na lateral de cada pilha de *kanbans*) de modo que os cartões misturados fosse facilmente identificados.

7. CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS

O presente trabalho apresentou a aplicação da metodologia do projeto axiomático no desenvolvimento e implementação de um sistema de logística interna para um fornecedor de autopeças dentro de um condomínio industrial.

Considerando o objetivo principal, *Desenvolver um projeto de sistema logístico em um condomínio industrial utilizando como ferramenta de projeto o “Projeto Axiomático”*, pode-se verificar que o mesmo foi atingido, pois uma árvore de projeto para a logística interna, com detalhamento suficiente, foi encontrada e implementada, conforme comentado detalhadamente a seguir.

O projeto da logística interna é considerado um bom projeto pois, sob o ponto de vista axiomático, as matrizes de projeto respeitam o Axioma da Independência. Também se afirma que esse foi o projeto com o menor conteúdo de informações encontrado, o que deve satisfazer o Axioma da Informação.

O Projeto Axiomático mostrou-se adequado para o desdobramento de cada requisito funcional e parâmetro de projeto correspondente até alcançar um nível de detalhamento que torna possível a definição física do projeto, isto é, o detalhamento suficiente para sua implementação.

A experiência prática comprova que a definição das *FRs e DPs* devem estar vinculadas à um modelo conceitual que guie a seleção e desdobramento. Contudo, descobrir as relações entre as *FRs* e *DPs* (acoplamento, não acoplamento e desacoplamento) em projetos quando não existem equações matemáticas exatas, não é uma tarefa trivial. Muitos acoplamentos só ficam evidentes quando se chega aos níveis mais inferiores da árvore, onde pode-se ver com mais clareza a operação e assim rever as equações dos níveis superiores. Outros acoplamentos, só ficaram evidentes na fase de implementação - como o caso do acoplamento de primeiro nível apresentado em 5.2.1 – em que a operação ficou prejudicada até o desenvolvimento de uma solução desacoplada.

Considerando agora, o objetivo secundário, *Aplicar os princípios da Mentalidade Enxuta na logística interna em um ambiente de compactação da cadeia produtiva*, fica evidente que a Abordagem Enxuta na logística interna se mostrou adequada, uma vez que o foco na redução dos

desperdícios - sejam eles no âmbito da produção ou da movimentação – orientou a geração de *FRs* para minimizar os desperdícios. Mostra-se que é possível analisar, mesmo dentro de atividades não agregadora de valor como é o caso da logística, formas de projetar sua operação minimizando os seus desperdícios.

Além disso, no âmbito das *DPs*, as ferramentas da abordagem enxuta dão simplicidade e facilidade à operação. É evidente que os sinais de “puxada” associados a uma gestão visual propiciam ao operador um planejamento simples, de curto prazo e de fácil execução de suas tarefas rotineiras, sejam de armazenagem, programação da produção ou movimentação de materiais. Além disso, a produção puxada e a gestão visual também são capazes de reagir rapidamente (ou solicitar reação) às mudanças de programação de produção e do *mix* de montagem do cliente em ambientes integrados sem necessitar de sistemas ou rotinas de tecnologia de informação.

Considerando o objetivo secundário, *validar o desenvolvimento através da sua implantação, coordenada pelo autor e sua equipe*, é possível concluir, através dos indicadores *desempenho da entrega e estoque em processo*, que o projeto desenvolvido é bem sucedido, uma vez que o atendimento à linha de montagem é muito elevado, sendo rara uma falha na entrega e exigindo um baixo nível de estoque. Além disso, dada a magnitude da operação que o fornecedor gerencia e como a quantidade de pessoas necessárias para gerenciá-las é muito reduzida, verifica-se o sucesso do projeto desenvolvido. Dessa forma, valida-se, como um todo, a aplicação do método de desenvolvimento de projeto de sistema logístico em um condomínio industrial utilizando como ferramenta de projeto o “Projeto Axiomático”.

Houve, todavia, por parte do fornecedor, uma grande preocupação sobre número de manipulação com cartões e dúvidas sobre sua funcionalidade, principalmente em relação à operação dos Quadros *FIFO* de armazenagem dinâmica. Apesar de não ter sido apresentada uma solução mais simples para esta operação, acredita-se que ela deva ser simplificada.

É fato que esse projeto logístico é específico para um determinado tipo de fornecedor, com suas características e particularidades, no entanto, existe a possibilidade de aplicação parcial da solução desenvolvida a outros fornecedores de autopeças em condomínios industriais. Acredita-se também que com alguns ajustes e modificações algumas das soluções desenvolvidas podem ser aplicadas em outras unidades fabris com alguma integração entre si.

Sugere-se, como um possível trabalhos futuros, duas diferentes frentes. A primeira frente é utilizar a árvore de projeto como base de desenvolvimento de uma ferramenta de avaliação (*assessment*) para sistemas logísticos, comparando o desempenho percebido pelos clientes com a pontuação que a ferramenta de avaliação traria. Dessa forma espera-se confirmar uma forte correlação direta entre a pontuação do *assessment* e o desempenho percebido pelo cliente, como forma de confirmar, de maneira rápida, em outras empresas o que foi concluído somente para a empresa que foi objeto do estudo deste trabalho.

A segunda frente de trabalho é a expansão dessa árvore de projeto da logística interna para as outras atividades da mesma fábrica, envolvendo processos de suporte, como a administração, manutenção de máquinas e de ferramentas, engenharia de produto e processos, qualidade, entre outros. Dessa forma, seria possível um desempenho da entrega ainda mais estável, visto que outros fatores que podem influenciar no desempenho de entrega ao cliente estariam sendo também endereçados.

Referências

Automotive Business. O Mapa da Produção Automotiva, **Automotive Business**, São Paulo: Ano 2, No.4, Julho de 2010, pp.34-42.

ALVES FILHO, A. G. Assembler Control of the Supply Chain: The Case of an Engine Plant in Brazil, **Actes du GERPISA**, n.33, 2002.

ALVES FILHO, A. G. O poder de compra, Consórcio Modular e seus Impactos na Cadeia de Suprimentos da Fábrica de Motores VW - São Carlos - Auxílio a Projeto de Pesquisa – Temático, **Pesquisa FAPESP**; , n. 75, p. 79, maio, 2002.

AMATO, J.; LUZ, M. C. V.; GATAZ, C. H. The Dynamic of Cooperation Network as an Instrument for the Technological Management and Innovation Process: The case of the Brazilian Aeronautic Sector, **Journal of Technology Management & Innovation**., Volume 1, Issue 3, 2006.

ANDRADE, J.; FURTADO, C. Innovation and Manufacturing in Assembly Industries: A Comparative Analysis of Outsourcing Approaches on Automobiles and Electronics, **GERPISA 14th International Colloquium**, June 2006.

AULAKH, S. S; Gill J.S. Lean Manufacturing Using Axiomatic Design, London. **Proceedings of the World Congress on Engineering**, Vol.1, July 1-3, 2009.

BALLOU, R.H. **The Evolution and Future of Logistics and Supply Chain Management** Prod. São Paulo: Produção, Vol.16 No.3 Sept./Dec., 2006.

BAUDIN, Michel. **Lean Logistics: The Nuts and bolts of Delivering Materials and Goods**, New York: Productivity Press, 2006, 387pp.

BLACK, J.T. **O Projeto da Fábrica com Futuro**. Porto Alegre: Artes Médicas, 2001, 288p.

BRYMAN, A. **Research Methods and Organization Studies**, Routledge; 1989, 300p.

BENETT, D.; KLUG F. Automotive Supplier Integration from Automotive Community to Modular Consortium. **Cardiff: 14th Annual Logistics Research Network Conference**, September, 2009.

COSTI, FABIANO. **Metodologia Numérica Aplicada a Viscoelasticidade em Polímeros**. 2006, 124p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba.

COCHRAN, D.S.; ARINEZ, J.F.; DUDA, J.W.; LINCK, J. A Decomposition Approach to Manufacturing System Design, **Journal of Manufacturing Systems**, vol. 20, n. 6, pp. 371-389, 2001.

COCHRAN, D.S.; KIM, J.; KIM, Y. Design of Relevant Performance Measures for Manufacturing Systems. **The Third World Congress on Intelligent Manufacturing Processes & Systems**, Cambridge/MA, June 28-30, 2000.

CZUCHRY, A.; YASIN, M.; KHUZHAKHMETOV, D. Enhancing Organizational Effectiveness Through the Implementation of Supplier Parks: The Case of the Automotive Industry. **Journal of International Business Research**, Vol. 8, No. 1, 2009.

DUGGAN, Kevin. J., **Creating Mixed Models Value Stream: Practical Lean Techniques for Building to Demands**, New York: Productivity Press, 2002.

DYER, H. J. Dedicated Assets: Japan's Manufacturing Edge, **Harvard Business Review**, November-December 1994, pp.4-8.

FAVARO, Cleber, **Integração da Cadeia de Suprimentos Interna e Externa através do Kanban**, 2003, 115 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

FAVARO, C. Application of Axiomatic Design to Develop a Lean Logistics Design Methodology, London: **41st CIRP Conference on Manufacturing Systems**, Part 4, pp163-168, 2008

FERRO, J. R. “Prefácio a Edição Brasileira” em A Produção Enxuta no Brasil In: WOMACK, J.O., JONES, D. T., Roos, D, **A Máquina que Mudou o Mundo**, Editora Campus, 2004, 332p.

FREDRIKSSON, P., Operations and Logistics Issues in a Modular Assembly Process: Cases from Automotive Sector, **Journal of Manufacturing Technology Management**, Vol.17, No. 2, 2005, pp.1668-186

G. O. SHELIVING, <http://www.goshelving.com.au> - Site do Fabricante de Estruturas de Armazenagem. Acesso em 11/07/2007.

GOLDSBY, T.; MARTICHENKO, R.; **Lean Six Sigma Logistics – Strategic Development to Operational Success**, J. Roos Publishing, 2005.

HARRIS, R.; HARRIS, C.; WILSON, E. **Fazendo Fluir o Materiais**, Lean Institute Brasil, Versão 1 – 2004.

HARRIS, R. **Fazendo Fluir os Materiais**, Gramado: Lean Summit, 2004.

HOUSHMAND, M.; KAKHKI, M. D. A Framework for Lean Logistics based on Axiomatic Design, 2006, Firenze, **Proceeding of ICAD**, 4th International Conference on Axiomatic Design, June, 2006.

HOYLE, David, **ISO 9000:2000 - Quality Systems Handbook**, Oxford – Reed Elsevier Publication Group, 4.a Edicao, 2001.

JONES, D. T.; HINES, P.; RICH, N. Lean Logistics, **International Journal of Physical Distribution and Logistics Management**, Vol. 27, No. 3/4, pp. 153-173, 1997.

JONES, D. T.; WOMACK, J. **Enxergando o Todo**, Brookline: Lean Enterprise Institute, 2002, 94 p.

LEE, H.; PADMANABHAN, V.; WHANG, S. **The Bullwhip Effect in Supply Chains**, Sloan Management Review, vol. 38, n. 3, pp. 93-102, 1997.

LOBO, Carlos E.V. **Aplicação do Projeto Axiomático para o Desenvolvimento de Sistemas de Medição de Desempenho da Manufatura**, 2003, 115 p. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

LIKER, J. K. **The Toyota Way – 14 Management Principle from the World’s Greatest Manufacturer**, New York: McGraw Hill, 2004, 330p.

LINCK, JOACHIM. **A Decomposition Based Approach for Manufacturing System Design**. 2001, 321 p. Tese (Doutorado) - Mechanical Engineering Department, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.

MARTICHENKO, R. **Lean Warehousing**, Lean Summit Brasil. São Paulo, 2006

MAIA, J.L. **Alinhamento entre a Estratégia de Operações e a Gestão Estratégica da Logística: Estudo de Caso no Setor Automotivo Brasileiro**, 2006, 230p. Dissertação (Mestrado) - Centro de Ciências Exatas e Tecnologia – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

MAIA, J.L.; CERRA, A.L. **Interrallation Between Supply Chain Management and Logistics: A Case Study in the Brazilian Plant of Multinational Automotive Company**. Revista Gestão Industrial, Vol. 05, No. 01, pp59-73, 2009.

MONDEN, Y. **Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-In-Time**, Norcross: Engineering and Management Press, 1997, 479 p.

MOURA, D. A. **Caracterização e Análise de um Sistema de Coleta Programada de Peças, Milk Run na Indústria Automobilística Nacional**, 2000, 274 p. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Naval, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MOSSMAN, A.; BALLARD, G., PASQUIRE, C. **Lean Project Delivery – Innovation in Integrated Design and Delivery, Architectural Engineering and Design Management** – Special Issue on Integrated Design and Development Systems, 2010 (White Paper).

OHNO, T., **O Sistema Toyota de Produção: Além da Produção em Larga Escala**. Porto Alegre: Bookman, 1988, 149 p.

PASINI, Pasini & Cia Ltda, Site de Fabricante especializados em Transporte e Armazenagem – Catálogo de Produtos Especiais. www.pasini.com.br/prodesp.htm. Acesso em 1/07/2007.

PAVLINEK, P., JANAK, L. **Regional Restructuring of the Skoda Auto Supplier Network in Czech Republic**, No. 14, Vol.2, pp133-155, 2007.

PORTER, Michael E. **The Competitive Advantage of Nations**, New York: The Free Press, 1990, 896p.

PFOHL, H. C. Supplier Parks in the Germany Automotive Industries, **International Journal of Physical Distribution and Logistics Management**, Vol. 35, No.5, pp302-317, 2005.

ROTHER, M., HARRIS, R. **Creating Continuous Flow**, Brookline: Lean Enterprise Institute, 2001, 101pp.

ROTHER, M., SHOOK, J, **Aprendendo a Enxergar**, São Paulo: Lean Institute Brasil, 1999, 99p.

RACHID, A.; SACOMANO-NETO, M.; BENTO, P. E. G.; ALVES, A.G.A.; BENTO, P.E.G.; DONADONE, J. C. Organização do Trabalho na Cadeia de Suprimentos: Os Casos de Uma Planta Modular e de uma Planta Tradicional na Indústria Automobilística, **Produção**, v.16, n.2, p189-202, 2006.

REICHHART, A., HOLWEG, M. Co-Located Supplier Clusters: forms, functions and theoretical perspectives, **International Journal of Operations and Production Management**, v.28, n.1, p57-87, 2008.

SAKO, M.; MURRAY, F. Modules in Design, Production and Use: Implications for the Global Automotive Industry, Cambridge: **International Motor Vehicle Program (IMVP) Annual Sponsors Meeting**, October, 1999.

SAKO, M.; MURRAY, F. Governing Supplier Parks: Implications for Firm Boundaries and Clusters, Said Business School, University of Oxford, Oxford, 1999.

SAKO, M. Governing Supplier Parks: Benefits of Outsourcing and Co-location, **10th Conference of Danish Research Unit of Industrial Dynamics**, Copenhagen, June 27-29, 2005.

SALERNO, M.S.; DIAS, A.V.C. Product Design Modularity, Modular Production, Modular Organization: the Evolution of Modular Concepts, **Actes du GERPISA**, n.33, 2002.

SCAVARDA, L.F.; BARBOSA, T.P.W.; HAMACHE, S. Comparação entre as Tendências e Estratégias da Indústria Automotiva no Brasil e na Europa, **Gestão e Produção**, v.12, n.3, set-dez 2005, pp361-375.

SHINGO, S. **A Study of Toyota Production System from an Industrial Engineering Viewpoint**, Portland: Productivity Press, 1989, 257 p.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R., **Administração da Produção**, São Paulo: Atlas, 2002, 747 p.

SCHNETZLER, J.; SENNHEISER, A.; SCHOLSLEBEN, P. A Decomposition-based Approach for the Development of a Supply Chain Strategy, **International Journal of Production Economics** **105**, 21–42pp, 2007.

SUH, Nam P. **The Principles of Design**, New York: Oxford University Press, 1990, 418 p.

SUH, Nam P. **Axiomatic Design - Advances and Applications**, New York: Oxford Press, 2001, 503p.

SUH, Nam P.; COCHRAN, D. S.; LIMA, P.C., Manufacturing System Design, Greece: CIRP General Assembly, **CIRP Annals**, vol. 46, n. 2, 1998.

TARDIN, Gustavo Guimarães. **O Kanban e o Nivelamento da Produção**, 2001, 91 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

TBM Consulting Group. Metodologia Kaizen – Chão de Fábrica, São Paulo, **Apostila do Workshop Kaizen de Fluxo Contínuo**, 2000.

THIOLLENT, Michel. **Metodologia da Pesquisa-ação**. São Paulo: Cortez: Autores Associados, 1986. 108p.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T. **A Mentalidade Enxuta nas Empresas**, Rio de Janeiro: Editora Campos, 1998, 427 p.

WOMACK, J. P.; JONES, T. J. **From Lean Production to the Lean Enterprise**, Harvard Business Review, Vol. March-April, pp 93-103, 1994.

WOMACK, J.O.; JONES, D. T.; ROOS, D, **A Máquina que Mudou o Mundo**, Editora Campus, 2004, 332p.

WON, D.; COCHRAN, D.S.; JOHNSON, H.T.; BOUZEKOUK, S.; MASHA, B. Rationalizing the Design of the Toyota Production System: A Comparison of Two Approaches, Stockholm, **International CIRP Design Seminar Proceedings**, 2001.

ZYLSTRA, Kirk D. **Lean Distribution – Applying Lean Manufacturing to Distribution, Logistics and Supply Chain**. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc, 2006, 223p.