

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO – ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM
EDIFICAÇÕES

**EDIFÍCIOS INDUSTRIAIS: SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS PARA A
MANUFATURA LEAN**

RONALDO GHION

Campinas
2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS- GRADUAÇÃO – ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM
EDIFICAÇÕES

**EDIFÍCIOS INDUSTRIAIS: SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS PARA A
MANUFATURA LEAN**

RONALDO GHION

ORIENTADOR: PROF. DR. FLÁVIO AUGUSTO PICCHI

Dissertação apresentada à Comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil na área de concentração em Edificações

Campinas
Agosto/2008

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

G344e Ghion, Ronaldo
Edifícios industriais: soluções construtivas para
manufatura lean / Ronaldo Ghion. --Campinas, SP:
[s.n.], 2008.

Orientador: Flávio Augusto Picchi.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e
Urbanismo.

1. Edifícios industriais. 2. Construção civil. 3.
Eficiência industrial. I. Picchi, Flávio Augusto. II.
Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Titulo em Inglês: Industrial buildings: constructive solutions for lean manufacture

Palavras-chave em Inglês: Lean thinking, Lean construction, Flexibility,
Industrial utilities

Área de concentração: Edificações

Titulação: Mestre em Engenharia Civil

Banca examinadora: Celso Carlos Novaes, Regina Coeli Ruschel

Data da defesa: 28/08/2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO

**EDIFÍCIOS INDUSTRIAIS: SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS PARA A
MANUFATURA LEAN**

Ronaldo Ghion

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



Prof. Dr. Flávio Augusto Picchi
Presidente e Orientador/FEC-UNICAMP



Prof. Dr. Celso Carlos Novaes
DECiv/UFSCar



Prof. Dr. Regina Coeli Ruschel
FEC-UNICAMP

Campinas, 28 de agosto de 2008

DEDICATÓRIA

Dedico a todos que direta ou indiretamente auxiliaram para que esta pesquisa se tornasse realidade através de suas sugestões, experiência, paciência, amizade, carinho, coleguismo, crítica, conhecimento e muito mais.

Em especial aos meus antepassados Carlo e Alba, Domenico e Teresa, Giovanni e Giovanna.

À minha esposa Ana sempre presente e incentivadora, aos meus filhos Erika e Matheus pela sua paciência e alegria, aos meus sogros Oswaldo e Alcida que ocuparam o lugar de meus pais em sua ausência terrena.

Aos colegas de trabalho que acompanharam esta pesquisa mais de perto, bem como a todos os demais colegas de infra-estrutura industrial que com sua diligência compartilharam conosco um pouco de sua experiência.

AGRADECIMENTOS

Ao Sr. Ricardo José da Silva, pela oportunidade e pelo incentivo na figura de seus gerentes e supervisores que colaboraram dando condições de acesso para esta pesquisa.

Aos colegas de trabalho que acompanharam esta pesquisa mais de perto, Fett, Kozonara, Horta, Spada, Floriano, Aparecido, Moacir, Pinho, Tadeu e Reginaldo.

Aos professores, Cleópatra Poli pelo incentivo inicial, Lucila Laback, Regina Ruschel, Celso Novaes, por suas sugestões e incentivo, e em especial ao professor Flávio Picchi, orientador desta pesquisa pela sua paciência e disciplina, acreditando desde aquele esboço inicial de plano de pesquisa.

Antecipadamente a você que se dispôs a ler esta pesquisa, que o conteúdo aqui presente sirva de inspiração para o desenvolvimento de novos estudos, pois assim ter-se-ão cumpridos os objetivos desta.

O melhor de nossa vida e de nossas obras está na intensa ação de compartilhar,
Compartilhar a forte presença dos que nos rodeiam,
Rodeiam não por acaso, sim por sintonia de pensamento,
Pensamento multicolor,
Multicolor em todas as suas nuances,
Nuances que agregadas nos trazem a luz,
Luz que ilumina nossos caminhos,
Caminhos do conhecimento interior,
Interior que desabrocha em nossas obras
Obras, fruto deste intenso compartilhar...

RESUMO

GHION, Ronaldo. **Edifícios Industriais: soluções construtivas para a manufatura *lean***. Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – UNICAMP, 2008. 120p. Dissertação de Mestrado – FEC/ UNICAMP, 2008

A modernização de empresas de manufatura tem apontado para a necessidade cada vez maior de flexibilidade em sua produção. O conceito de *lean thinking* vem sendo largamente aplicado com este e outros objetivos, implicando em constantes mudanças de *layout*, gerando exigências de modificações na infra-estrutura industrial. Este trabalho visa caracterizar de maneira exploratória, as soluções construtivas aplicadas em edifícios industriais, face às exigências crescentes de flexibilidade da produção. Para esta análise, parte-se do levantamento, a partir da literatura, dos princípios fundamentais e principais ferramentas do *lean thinking*, e das diversas definições e enfoques de flexibilidade, buscando-se identificar demandas de flexibilidade do edifício industrial. Foi realizado um estudo de caso, baseado em dados decorrentes de modificações ocorridas nas instalações de uma montadora de veículos comerciais. São identificadas situações em que a falta de flexibilidade do edifício industrial, considerado como infra-estrutura industrial (utilidades, equipamentos e dispositivos auxiliares da produção), gerou custos adicionais na adequação às mudanças do sistema de manufatura. O estudo conclui apontando soluções construtivas, exploradas ou não, para dar maior flexibilidade nas situações identificadas, gerando diretrizes para novos projetos e comprovando a utilidade do enfoque para identificar lacunas para novos estudos e inspiração para novas aplicações.

Palavras chave: mentalidade enxuta, flexibilidade, edifício industrial, utilidades

ABSTRACT

GHION, Ronaldo. **Industrial Buildings: constructive solutions for lean manufacture.** Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – UNICAMP, 2008. 120p. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, 2008

Manufacturing companies' modernization has demanded increasing production flexibility. Lean Thinking has been applied with this and others objectives, generating frequent layout changes which require industrial infra-structure modifications. This work identifies the opportunities of Lean Thinking concepts application extended to industrial infra structure, as element of flexibility, in order to attend changing, maintenance and modifying actions requested by lean manufacture. A case is presented regarding a truck and bus manufacture. This analysis begins with a literature review, of core elements and technological applications of industrial buildings, to identify ways to obtain the industrial infra-structure flexibility. Application opportunities are analyzed crossing lean core elements; technological building applications; and applying difficulties. This research concludes pointing out application opportunities, indicating that this approach is useful to identify gaps in research and application, as well as to plan new applications.

Keywords: lean-thinking, lean construction, flexibility, industrial utilities

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	v
AGRADECIMENTOS	vii
EPÍGRAFE	ix
RESUMO	xi
ABSTRACT	xiii
LISTA DE FIGURAS	xvii
LISTA DE QUADROS	xix
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xxi
1. APRESENTAÇÃO	1
1.1 CONTEXTO	1
1.2 JUSTIFICATIVA	2
1.3 OBJETIVOS	3
1.4 ESTRUTURA	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. MANUFATURA <i>LEAN</i>	5
2.1.1 Origens	5
2.1.2 Princípios	5
2.1.3 Principais ferramentas lean	8
2.2. FLEXIBILIDADE DA MANUFATURA	10
2.2.1 Conceituação de flexibilidade da manufatura	10
2.2.2 Flexibilidade, incerteza e estratégia	14
2.3. FLEXIBILIDADE DO EDIFÍCIO INDUSTRIAL	15
2.3.1 Conceituação de flexibilidade do edifício industrial	16
2.3.2 Implicações das mudanças da manufatura no edifício industrial	16
2.3.3 Aspectos de modificação do edifício industrial	19
2.3.4 Adaptabilidade do edifício industrial	22

2.3.5 Variáveis de flexibilidade do edifício industrial	24
2.3.6 Elementos constituintes do edifício industrial	28
3. MÉTODO DA PESQUISA	31
3.1. Levantamento bibliográfico	31
3.2. Elementos de estudo e critérios qualitativos de análise da flexibilidade do edifício industrial	32
3.3. Estudo de caso	34
3.3.1 Dados sobre a unidade de estudo	34
3.3.2 Identificação da amostra de modificações	35
3.3.3 Impacto econômico da falta de flexibilidade no edifício industrial	36
3.3.4 Análise das soluções construtivas utilizadas nas modificações do edifício industrial do ponto de vista da flexibilidade	37
3.4. Organização de uma lista comparativa de soluções construtivas	37
3.5. Conclusões	38
4. RESULTADOS	39
4.1. Estudo de caso	39
4.1.1 Impacto econômico nos últimos 10 anos	39
4.1.2 Exemplo da necessidade de modificações subseqüentes	47
4.2. Análise das alternativas de modificações no edifício industrial	50
4.2.1 Alternativas de fechamento para o edifício industrial	52
4.2.2 Alternativas de coberturas para o edifício industrial	56
4.2.3 Alternativas de lajes e pisos para equipamentos industriais	59
4.2.4 Alternativas para fixação de equipamentos industriais	62
4.2.5 Alternativas para instalação de centrais de utilidades	66
4.2.6 Alternativas de disposição de tubulações para distribuição de insumos	69
4.2.7 Alternativas de distribuição de energia elétrica	73
4.4 Análise e organização de lista de alternativas construtivas menos flexíveis <i>versus</i> alternativas construtivas mais flexíveis	76
5. CONCLUSÕES	79
REFERÊNCIAS	81
APÊNDICE A – Subistemas de edificações industriais	85
APÊNDICE B – Levantamento e detalhamento da amostra	89

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 – Vista aérea da montadora de veículos comerciais	35
FIGURA 4.1 – Localização das modificações	39
FIGURA 4.2 – Quantidade de mudanças por necessidade da manufatura	42
FIGURA 4.3 – Quantidade de mudanças por ferramenta lean	43
FIGURA 4.4 – Quantidade de modificações por aspecto de mudança	43
FIGURA 4.5 – Quantidade de modificações por edifício afetado	44
FIGURA 4.6 – Quantidade de modificações por ano	45
FIGURA 4.7 – Investimentos anuais em modificações do edifício industrial	47
FIGURA 4.8 – Edifício industrial da década de 1960	49
FIGURA 4.9 – Utilização de fechamento com alvenaria de tijolos	53
FIGURA 4.10 – Utilização de fechamento com painéis metálicos termo acústicos	54
FIGURA 4.11 – Utilização de fechamento em alvenaria de blocos e painéis metálicos termo acústicos	55
FIGURA 4.12 – Cobertura com telhas de cimento-amianto	57
FIGURA 4.13 – Cobertura com telhas metálicas termo acústicas	58
FIGURA 4.14 – Utilização de vãos abertos nas lajes	60
FIGURA 4.15 – Utilização de plataformas metálicas	61
FIGURA 4.16 – Estrutura da cobertura como elemento de fixação de equipamentos	63
FIGURA 4.17 – Barras de carga como elemento de fixação de equipamentos	64
FIGURA 4.18 – Pórticos como elemento de fixação de equipamentos	64
FIGURA 4.19 – Utilização de central geral de utilidades com máquinas de grande porte (caldeira)	67
FIGURA 4.20 – Utilização de central geral de utilidades com grupos de máquinas de pequeno porte	68
FIGURA 4.21 – Utilização de central dedicada de utilidades (abastecimento de GLP)	69
FIGURA 4.22 – Utilização de tubulações de distribuição enterradas no solo	71
FIGURA 4.23 – Utilização de tubulação de distribuição dentro de galerias	72
FIGURA 4.24 – Utilização de tubulação de distribuição primária sobre <i>pipe rack</i>	72

LISTA DE QUADROS

QUADRO 2.1 – Resumo das principais conceituações de flexibilidade da manufatura	13
QUADRO 2.2 – Classificação das características dos edifícios	26
QUADRO 2.3 - Fatores de flexibilidade relevantes ao estudo de flexibilidade do edifício industrial	26
QUADRO 2.4 – Estrutura analítica de projeto	27
QUADRO 2.5 – Composição de um sistema construtivo e seus respectivos subsistemas	29
QUADRO 3.1 – Subsistemas para estudo do edifício industrial	33
QUADRO 4.1 – Descrição de modificações no edifício industrial em razão de mudanças na manufatura	41
QUADRO 4.2 – Custos de modificações no edifício industrial em razão de mudanças na manufatura	46
QUADRO 4.3 – Alternativas construtivas consideradas para análise quanto à flexibilidade	51
QUADRO 4.4 – Utilização de fechamento com alvenaria de tijolos	53
QUADRO 4.5 – Utilização de fechamentos com painéis metálicos termo acústicos	54
QUADRO 4.6 – Utilização de fechamento com alvenaria de blocos e painéis metálicos termo acústicos	55
QUADRO 4.7 – Custo da modificação do edifício industrial por alternativa de fechamento	56
QUADRO 4.8 – Utilização de coberturas com telhas em cimento -amianto	57
QUADRO 4.9 – Utilização de coberturas com telhas metálicas zipadas termo acústicas	58
QUADRO 4.10 – Custo da modificação do edifício industrial por alternativa de cobertura	59
QUADRO 4.11 – Utilização de vãos abertos nas lajes	60
QUADRO 4.12 – Utilização de reposicionamento dos vãos das lajes	60
QUADRO 4.13 – Utilização de plataformas metálicas	61
QUADRO 4.14 – Custo da modificação do edifício industrial por alternativa de piso	62
QUADRO 4.15 – Estrutura da cobertura como elemento de fixação de equipamentos	63
QUADRO 4.16 – Barras de carga como elemento de fixação de equipamento	64
QUADRO 4.17 – Pórticos como elemento de fixação de equipamentos	65
QUADRO 4.18 – Custo da modificação do edifício industrial por alternativa de fixação	65
QUADRO 4.19 – Utilização de central geral de utilidades, com máquinas de grande porte	67
QUADRO 4.20– Utilização de central geral de utilidades, com máquinas de pequeno porte	67
QUADRO 4.21 – Utilização de central modular de utilidades	68
QUADRO 4.22– Custo do edifício industrial por alternativa de fornecimento de insumos	69
QUADRO 4.23 – Utilização de tubulações de distribuição enterradas no solo	70
QUADRO 4.24 - Utilização de tubulações de distribuição dentro de galerias	71

QUADRO 4.25 - Utilização de tubulações de distribuição em <i>pipe racks</i>	72
QUADRO 4.26 – Custo da modificação do edifício industrial por alternativa de disposição de tubulações	73
QUADRO 4.27 – Utilização de circuitos constituídos por fios e cabos	74
QUADRO 4.28 – Utilização de circuitos constituídos por barramentos	75
QUADRO 4.29 – Utilização de circuitos constituídos por barramentos blindados	75
QUADRO 4.30 – Custo da modificação do edifício industrial por alternativa de distribuição de energia	76
QUADRO 4.31 – Coletânea de soluções identificadas no estudo de caso e soluções mais flexíveis	77
QUADRO A.1.1 – Itens principais da planilha de cálculo de preço de orientação para edifícios industriais	85
QUADRO A.1.2 – Detalhamento das variáveis de estudo do edifício industrial - edifício	86
QUADRO A.1.3 – Detalhamento das variáveis de estudo do edifício industrial - <i>layout</i>	87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGV	<i>Auto Guided Veicule</i>
EOM	<i>Electronic Overhead Monorail</i>
EUA	Estados Unidos da América
IPEADATA	Banco de dados digital do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
MIT	Instituto de Tecnologia de Massachusetts
OECD	Organização para o Desenvolvimento e Cooperação Econômica das Nações Unidas
STP	Sistema Toyota de Produção

1.1 CONTEXTO

As constantes e rápidas transformações que ocorreram nos últimos sessenta anos na manufatura automobilística não foram acompanhadas na mesma intensidade pelo projeto do edifício industrial. Muitas vezes o projeto do edifício industrial limitou-se, apenas, a criar soluções pontuais para as necessidades que foram geradas no decorrer desses anos pela manufatura automobilística.

A manufatura, constituída de máquinas e equipamentos, mão de obra, processo, materiais, e infra-estrutura industrial, se estabelece a partir de um sítio: o edifício industrial. Esse edifício industrial, por sua vez é composto de: edifícios propriamente ditos; *layout*¹ de máquinas e equipamentos estabelecidos pelos processos; sistema de suprimento de matéria-prima, estabelecido pelo fornecimento de materiais ou subprodutos constituintes dos produtos finais; sistema de suprimento de insumos de produção, responsável pela distribuição de energia, água, gases produtivos, disposição e controle ambiental, segurança, proteção atmosférica e proteção contra incêndios, conhecido também, como sistema de utilidades.

As mudanças de conceitos na gestão da manufatura implicam na concepção de *layouts*, diferentes dos modelos clássicos de espaço, distribuição do trabalho, fluxo da produção e estoques. Por esse motivo, os novos *layouts* passaram a exigir do edifício industrial uma resposta diversa das soluções construtivas tradicionais, em razão das dificuldades de adaptação entre *layout* e edifício industrial, sem que não se estabelecessem modificações profundas neste último (CAMAROTTO, 1998).

Com as inúmeras mudanças e ampliações ocorridas na manufatura decorrentes da ampliação e renovação da carteira de produtos oferecidos ao mercado e da transformação gradativa da manufatura em massa para a manufatura *lean*, inúmeras modificações e ampliações ocorrem no edifício industrial.

¹ *layout*., do inglês cujo significado é o arranjo em que são dispostos os diversos elementos de um determinado projeto, nesse texto utilizaremos a interpretação de Tompkins (1996), que é o da distribuição determinada dos elementos produtivos de um ou mais processos fabris no interior de um sítio fabril.

Dentro do contexto, este trabalho considera a questão: qual o potencial de flexibilidade que o edifício industrial apresenta para acomodar novas modificações do *layout* da manufatura? (HILLIER; LEAMAN, 1972); bem como a afirmativa: de que a flexibilidade é freqüentemente citada como a chave da capacidade competitiva (KOSTE, 2002).

1.2 JUSTIFICATIVA

A melhoria da competitividade da empresa reside na eliminação contínua de desperdícios e no atendimento dos requisitos dos clientes em relação à variedade, qualidade, quantidade, tempo e preço dos produtos.

“O *Lean Thinking*² baseia-se no STP (Sistema Toyota de Produção), desenvolvido em ambiente de manufatura automobilística. O termo *lean* caracteriza esse novo paradigma de produção, que comparado ao paradigma da produção em massa, requer apenas 50% em média do esforço da mão de obra, metade do espaço para fabricação, metade do investimento em ferramentas, metade das horas de planejamento para o desenvolvimento de novos produtos, metade dos estoques atuais de fabricação. Como resultado, obtendo uma crescente e maior variedade de produtos, de melhor qualidade, com bem menos defeitos” (WOMACK *et. al.*, 1992: 3).

A manufatura *lean* fundamenta-se em cinco princípios (WOMACK; JONES, 1998): valor; fluxo de valor; fluxo; produção puxada e perfeição. A aplicação destes princípios implica na utilização de diversas ferramentas, descritas na literatura especializada, tais como: *kanban*, células de produção, *set-up* rápido, etc. (MONDEN, 1998). A aplicação destes conceitos tem levado a uma enorme demanda por mudanças de *layout* funcionais, de equipamentos com a mesma finalidade (por exemplo, uma área com todas as máquinas de corte, outra com todas de estampagem, etc.), transformando-os em *layouts* organizados por famílias de produtos (WOMACK; JONES, 1998). Dentro da busca pela perfeição no *lean thinking*, o *layout* continua a mudar permanentemente através da sua otimização, ajustes de células de trabalho, por variações de demanda, etc.

² *Lean thinking*, é traduzido para o português como mentalidade enxuta, porém nesse texto utilizaremos apenas o termo *lean*, na grafia original inglesa, por simplicidade e porque o mesmo possui um significado intrínseco que a expressão mentalidade enxuta não consegue traduzir em sua plenitude,

No desenvolvimento dinâmico das edificações as modificações se aceleram, porém os locais que criamos são estáticos e não respondem satisfatoriamente às mudanças da manufatura (DAVIS, 2001; WILSON et. al. 1998). Em função dessa constante e intensa mudança atual do *layout* industrial, e da concepção estática do edifício industrial é necessária a análise da natureza de modificações que atendam aos requisitos do usuário em relação ao edifício industrial. Com isso o exame de definições, conceitos e critérios de flexibilidade são necessários para a determinação de requisitos de flexibilidade na concepção de modificações de cada edifício (FRIGERIO, 1994).

Nos edifícios industriais, esses requisitos de flexibilidade consideram modificações em três aspectos principais (AYLWARD, 1970; AL-NIJAJDI, 1985; DAVIS, 1989): mudanças internas, mudanças externas e obsolescência. Para que ocorram as modificações necessárias na tipologia dos edifícios, necessitaremos encontrar novos caminhos para a avaliação e entendimento da evolução do edifício industrial durante sua existência. A melhor compreensão do valor da flexibilidade, ou da habilidade de adaptar-se a mudanças por parte do edifício industrial, poderá dar suporte à estratégias, tais como: reduzir a intensidade das intervenções de modificação; reduzir os altos custos acumulados nas sucessivas modificações; reduzir o risco na adoção de novas tecnologias (DAVIS, 2001; WILSON et. al. 1998).

1.3 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo geral, identificar as soluções construtivas que aplicadas ao edifício industrial resultem em maior flexibilidade do mesmo, atendendo às soluções demandadas por mudanças decorrentes da manufatura *lean*.

E como objetivos específicos, os seguintes: identificar quais as principais modificações que foram necessárias no edifício industrial, em função das mudanças que ocorreram na manufatura; caracterizar os custos dessas modificações no edifício industrial decorrentes dessas mudanças; avaliar qualitativamente as soluções construtivas adotadas quanto à sua flexibilidade.

1.4 ESTRUTURA

Os capítulos deste trabalho estão estruturados da seguinte forma:

Capítulo 1 – Capítulo introdutório que apresenta as justificativas da pesquisa. São apresentados também neste capítulo, além desta estruturação, os objetivos da pesquisa.

Capítulo 2 – Capítulo de Revisão Bibliográfica. Está dividido em quatro grandes assuntos: conceitos gerais de *lean thinking* aplicados à manufatura; flexibilidade da manufatura; flexibilidade do edifício industrial; elementos constituintes do edifício industrial.

Capítulo 3 – Apresenta o método de pesquisa. Todas as etapas da pesquisa são sucintamente descritas.

Capítulo 4 – São apresentados os resultados referentes às etapas da pesquisa.

Capítulo 5 – Conclusão.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. MANUFATURA *LEAN*

2.1.1 Origens

Nos idos de 1937, quando a Toyota era a tecelagem Toyoda Spinning e Weaving, dizia-se que eram necessários em média nove japoneses para produzir o que um americano produzia. Essa relação de 9 para 1 não poderia somente significar que um americano era capaz de empregar cerca de 10 vezes o esforço que um japonês aplicava. Os japoneses deviam estar desperdiçando algo.

Com o final da Segunda Guerra, o então presidente da Toyota Motor Company, Sr. Toyoda Kiichiro, disse, “Alcancemos os Estados Unidos em 3 anos. Caso contrário, a indústria automobilística do Japão não sobreviverá” (WOMACK; JONES, 1998). Traçada essa meta de igualar-se aos Estados Unidos, e diante da relação de 9 para 1 de produtividade, a idéia de eliminar desperdício deu início ao atual Sistema Toyota de Produção .

Durante os primeiros anos subseqüentes a 1973, quando teve início a crise de petróleo, o mundo inteiro sofreu as conseqüências da recessão econômica que se estabeleceu. Todavia a Toyota Motor Company, mesmo com redução em seus lucros, mantinha uma rentabilidade maior do que a de qualquer outra concorrente. Rentabilidade que despertou o interesse de outras empresas em saber o que estava acontecendo na Toyota (WOMACK; JONES, 1998).

2.1.2 Princípios

Nesses primeiros anos do pós-guerra ficou claro para os Toyoda que simplesmente copiar a produção em massa não levaria a lugar algum, pois as peculiaridades do Japão e dos Japoneses os diferenciava sobremaneira das características dos Norte-Americanos, onde havia sido desenvolvido o sistema de produção em massa por Henry Ford. A dificuldade em copiar e aperfeiçoar o modelo de Rouge (Complexo Industrial da Ford nos EUA)

conduziu Eiji Toyoda e seu engenheiro de produção Taiichi Ohno a desenvolver o Sistema Toyota de Produção culminando com a Produção *Lean*.

Cinco princípios, voltados para a eliminação do desperdício, sustentam conceitualmente a produção *lean*: valor, fluxo de valor, fluxo, produção puxada e perfeição, os quais são sintetizados abaixo, (WOMACK; JONES, 1998):

Valor do produto como um todo, envolve a visão desse produto pela ótica do cliente, o que conduz os fornecedores das partes que constituem esse produto a visualizá-lo, também como um todo. O valor de um produto, após a definição do mesmo, é determinado a partir do custo-alvo com base no volume de recursos, no esforço necessário para fabricar o produto com determinadas especificações e capacidades, e na eliminação do desperdício visível do processo. Efetivamente para as empresas *lean*, o valor de um produto é aquele onde determina-se o custo-alvo do mesmo, aplicando os métodos *lean* sobre o produto da concorrência, individualizado das atividades de desenvolvimento do produto, administração de suprimentos e produção. Uma vez definido o custo-alvo para um determinado produto, esse custo se torna a lente para o fluxo de valor, visualizando-se a partir dele aquelas atividades que realmente agregam valor ao produto.

Fluxo de valor entendido como o mapeamento das etapas desde a prospecção do mercado, passando pelo desenvolvimento do produto, pela sua produção, colocação no mercado, até o pós-venda, possibilita a análise das atividades identificando aquelas que agregam valor ao produto, aquelas que não agregam valor e aquelas que causam desperdícios. Contudo de maneira simples, as atividades que não podem ser medidas, ou seja, aquelas que não agregam valor ao produto não podem ser questionadas, melhoradas ou eliminadas ou, ainda, aperfeiçoadas. Na análise do fluxo de valor quando são aplicadas as técnicas do pensamento *lean*, as atividades que causam desperdícios, passam a ser alvo de eliminação, pois não agregam valor e ainda causam desperdícios.

Fluxo é determinado pelo tempo necessário para produzir uma peça a pedido de um cliente, considerada a capacidade de produção. O fluxo se estabelece quando se analisa o fluxo de

valor sob o aspecto temporal e seqüencial. Verificando-se o *lead time*³, e o seqüenciamento das atividades, após a eliminação daquelas que não agregam valor, determina-se o *takt time*⁴ das atividades.

Produção puxada significa que um bem ou serviço somente deve ser produzido durante determinado processo de produção se o cliente posterior solicitar. Entenda-se aqui como cliente, não só o cliente final, mas, também todo aquele que necessita que seja produzido um determinado item ou conjunto de itens para consecução de sua atividade no decorrer do fluxo de produção. Na prática, seria caminhar no sentido inverso do fluxo de produção, estabelece-se um fluxo de comunicação no sentido oposto ao fluxo de produção, sucintamente, o cliente recorre ao cliente precedente que aciona, por sua vez, seu precedente, e assim sucessivamente até onde principia o fluxo de valor. A produção puxada é assim, não mais se fabricam lotes de peças para serem acumulados em almoxarifados, somente se produz aquilo que foi requerido pelo cliente posterior do fluxo.

Perfeição no âmbito da produção *lean* consiste na procura incessante de redução da *muda*, palavra que em japonês significa desperdício. A perfeição é decorrente das constantes ações de melhoria nas diversas atividades, eliminando desperdícios em esforço físico, tempo, espaço e erros. Com isso a atividade torna-se progressivamente mais flexível e receptiva pelo cliente posterior do fluxo de valor. Em outras palavras, para se atingir a perfeição, é necessário aplicar a melhoria contínua passo a passo, atividade por atividade, sempre focada. Existem infinitas fontes de desperdício que podem ser identificadas e outras tantas ações de melhoria que podem ser realizadas em um determinado fluxo de valor, todavia, o cuidado em aplicar uma ação de melhoria por vez, facilita a sua finalização e conseqüentemente participa para que se atinja a perfeição, sem perder o foco.

³ *Lead time*, do inglês, o tempo requerido para um produto se movimentar por todas as etapas de um processo, do início ao fim, conforme Léxico (2007).

⁴ *Takt time*, do inglês, tempo disponível para a produção dividido pela demanda do cliente, conforme Léxico (2007).

2.1.3 Principais ferramentas *lean*

As principais ferramentas *lean* são compiladas abaixo, a partir de exemplos práticos de aplicação:

Set-up rápido é a troca de ferramentas de conformação de uma máquina, de maneira que se perca o menor tempo possível, ou seja que se elimine o desperdício de tempo entre itens com conformação diferente, que exigem modificação na preparação da máquina. A necessidade do *set-up* rápido ocorre em face da produção individual ou em lotes mínimos de itens que atendam a produção puxada, eliminando estoques. O *set-up* rápido imprime maior flexibilidade à produção em razão da possibilidade de alterar o item a ser produzido a partir de operações simples de comutação de ferramentas de uma máquina (SHINGO, 1996).

Just-in-time, como o próprio nome sugere, trata-se de um sistema logístico de entrega de um item ou conjunto de itens a serem agregados a um produto, no momento da aplicação ao produto que esta sendo elaborado. Na produção puxada a partir da necessidade de itens da operação subsequente, o item é entregue no momento de sua aplicação, no limite seria a eliminação total de estoques. O *Just-in-time* utiliza o *kanban* como ferramenta visual de ordenação de logística desde a produção até a entrega do item ou conjunto de itens na produção de um produto. (LIKER; MEIER, 2006)

Kanban, do japonês, significa sinal, foi aplicado inicialmente como uma etiqueta composta de um cartão colorido dentro de um envelope transparente que possuía a identificação de peça, a quantidade e o estoque mínimo, entre outras informações relativas a um determinado item ou conjunto de itens contidos numa unidade de armazenagem de estoque, e que evoluiu para códigos de barras, *tags*⁵, entre outros. Como ferramenta da produção *lean*, é o elemento visual do gerenciamento de estoques (identificação, organização e suprimento) em que se baseia a redução ao mínimo os estoques intermediários de processo.

⁵ *Tag*, do inglês, dispositivo eletro-magnético que possui informações do item ou itens aos quais é apostado e identificado ao passar por sensores no decorrer do fluxo de valor, atualizando o gerenciamento da produção como o primitivo *Kanban*, (CAMBRIDGE, 1995).

Essa redução é diretamente influenciada pelo balanceamento das quantidades e o sincronismo das operações. Com o *kanban* se estabelece o conceito de armazenagem por supermercado na produção puxada e a distribuição *Just-in-time*. (LIKER; MEIER, 2006)

Kaizen, do japonês, significa melhoria contínua. Na produção puxada é a ferramenta a partir da qual se estabelecem os procedimentos de criação de um grupo de trabalho e de condução das atividades desse grupo com o objetivo de alcançar melhoria em uma atividade ou processo. Essa melhoria visa, por exemplo, eliminar desperdícios, tais como, passos que não agregam valor na consecução de uma determinada atividade. O *Kaizen* é uma sistematização dinâmica de rearranjo de atividades ou processos, promovendo a melhoria contínua a partir da eliminação de desperdício (LIKER; MEIER, 2006)

Célula de trabalho onde se promove o revezamento de funções e por consequência a formação de indivíduos com habilidades multidisciplinares. A partir da tradição japonesa, a força de trabalho não está vinculada a sindicatos por especialidade como nos EUA, o que facilitou a formação de células de trabalho. A adoção da célula de trabalho traz maior flexibilidade à manufatura dado que um mesmo indivíduo pode operar diversas máquinas de um determinado subsistema de um processo industrial, em razão do seu conhecimento das profissões inerentes ao grupo de máquinas presentes nessa célula de trabalho (LIKER; MEIER, 2006).

Cinco S é uma metodologia organizacional utilizada para eliminar desperdícios, a partir de cinco quesitos básicos, cuja fonética em japonês inicia-se pelo som representado pela letra esse (S). Numa interpretação para o português desses cinco quesitos, retirada dos autores Liker e Meier (2006), têm-se: selecione e descarte os itens que são raramente utilizados; simplifique, organizando e criando um lugar para cada coisa; submeta à limpeza cada uma das coisas que organizou; saliente a padronização dos procedimentos de manutenção do três primeiros quesitos (Esses); sustente a disciplina através de auditorias regulares.

2.2 FLEXIBILIDADE DA MANUFATURA

2.2.1 Conceituação de flexibilidade da manufatura

A importância da flexibilidade na manufatura é bastante discutida na literatura. Autores como Garrett(1986) ressaltam a importância dessa flexibilidade da manufatura diante das dificuldades de ordem interna e externa criadas no ambiente organizacional em razão das condições competitivas de mercado. Na empresa essas dificuldades de ordem interna podem se manifestar na obsolescência dos equipamentos, tempo de resposta, perdas de fluxo, peças rejeitadas e no retrabalho. As dificuldades de ordem externa podem ser atribuídas a outros diversos fatores como: a incerteza dos resultados empresariais devido a flutuação da demanda por seus produtos, pelos preços desses produtos, pelo *mix*⁶ de produtos, bem como, pela ação dos competidores (BUZACOTT,1985).

Apesar do reconhecimento da necessidade de flexibilidade da manufatura, muitas vezes, essa flexibilidade não é manifestada se quer na fase de escolha da tecnologia, bem como, na fase de implantação (LIM, 1992). A importância da flexibilidade da manufatura tem ampla discussão na literatura, sendo encontradas diversas interpretações do termo flexibilidade no que concerne à manufatura. As diversas interpretações relativas à flexibilidade da manufatura podem ser subdivididas como (SWAMIDASS, 1988): o escopo considerado nos termos relativos à flexibilidade varia de autor para autor; alguns termos relativos à flexibilidade são adicionados a outros termos; termos idênticos utilizados por autores diferentes podem significar coisas diferentes.

Flexibilidade é um complexo conceito multidimensional que exige esforço para ser absorvido (SETHI; SETHI, 1990). A flexibilidade necessita ser visualizada sobre diversos aspectos, para que possa ser absorvida conceitualmente. Assim, podemos visualizar a flexibilidade, a exemplo, considerando-a quanto à sua definição, quanto ao tipo, quanto a forma, quanto à mensuração e quanto ao impacto nas decisões de investimento. Desejar um sistema que contenha diversos tipos de flexibilidade pode ser difícil, mas não seria

⁶ *Mix*, da língua inglesa, que significa combinar, (CAMBRIDGE, 1995), no texto: uma lista de itens produzidos que é praticada no mercado em determinado período por uma empresa.

impossível. A empresa deve definir a forma de flexibilidade focada na estratégia e operacionalização de seu produto, de maneira a permanecer competitiva no mercado, concomitantemente à definição do tipo de tecnologia e do sistema organizacional para adquirir essa flexibilidade. (RAKESH, et. al., 2000).

Evidências sugerem que existe confusão devido às numerosas definições de flexibilidade, e por sua vez, que o conceito de flexibilidade supostamente não tenha sido entendido (CHENG et. al., 1997).

Através dos anos, flexibilidade foi definida de várias formas. Uma definição de meados dos anos 70 define flexibilidade como a habilidade de responder efetivamente a circunstâncias de mudança, que caracteriza flexibilidade em duas diferentes formas: flexibilidade dinâmica e flexibilidade estática. A flexibilidade dinâmica é definida como “a capacidade de tomar novas ações que se revertam em novas soluções” e a flexibilidade estática é definida como a “capacidade de continuar desempenhando efetivamente as funções, mesmo em condições de mudança no ambiente” (MANDELBAUM, 1978: 151). De outra maneira, autores como Sethi e Sethi (1990) e Remesech e Jayakumar (1991), definem numerosos tipos de flexibilidade de acordo com o tipo de aplicação, sugerindo uma padronização dos conceitos de flexibilidade, a partir das definições:

- **Flexibilidade dos meios de produção**, como a habilidade do sistema de manipulação de materiais de movimentar diferentes partes do produto eficientemente por processo e posicionamento apropriado através dos equipamentos de manufatura a que ele atende.
- **Flexibilidade de operações**, relativamente à habilidade de produzir uma mesma peça por diferentes caminhos, através de processos alternativos entre si, por troca ou substituição de operações entre eles.
- **Flexibilidade de processos**, de um sistema de manufatura é considerado como a possibilidade do sistema em produzir tipos diferentes de peças, com *set-ups* reduzidos (conhecido também como **flexibilidade de mix**).

- **Flexibilidade de produto** é a facilidade com que novas peças podem ser adicionadas ou vir a substituir peças existentes e vice-versa. Em outras palavras flexibilidade de produto significa a facilidade que o conjunto de diferentes peças produzidas pode ser trocado sem causar custos adicionais e de forma rápida.
- **Flexibilidade de rota** de um sistema de manufatura é a habilidade que esse sistema tem para produzir peças por caminhos alternativos.
- **Flexibilidade de volume** é a habilidade que o sistema possui em produzir quantidades diferentes no tempo de forma rentável para diversos níveis de demanda.
- **Flexibilidade de expansão** é a adaptabilidade que o sistema de manufatura possui para aumentar sua própria capacidade quando necessário.
- **Flexibilidade de programação** é a habilidade do sistema em funcionar por um período suficientemente longo, diferentemente do que foi previsto.
- **Flexibilidade de produção** é o maior número de partes que o sistema de manufatura pode produzir sem incorrer em adicionais de capital na aquisição de equipamentos.
- **Flexibilidade de materiais** é a adaptabilidade de fazer peças com composições e dimensões alternativas de matérias primas.
- **Flexibilidade de mão de obra** é a habilidade de reposicionar trabalhadores em locais diferentes, alternar atividades entre trabalhadores, e alternar responsabilidades entre trabalhadores.
- **Flexibilidade de mercado** é a facilidade com que o sistema de manufatura pode adaptar-se às mudanças de mercado.

Autores como Hyun e Ahn (1992) agrupam essas definições de flexibilidade segundo sua natureza, classificando-as em estratégicas, táticas e operacionais. A **flexibilidade estratégica** ou de longo prazo, é entendida como aquela que conduz às melhores decisões estratégicas diante das mudanças inesperadas num ambiente competitivo, como mudanças drásticas na demanda de produto, desejos dos consumidores, número de competidores, e

tecnologia empregada. A **flexibilidade tática** ou de médio prazo no que concerne ao desempenho específico da manufatura como na utilização das máquinas e equipamentos, na disponibilidade de máquinas por processo, qualidade e eficiência. A **flexibilidade operacional** ou de curto prazo, no que se refere aos problemas esporádicos e imprevisíveis do dia-a-dia; como paradas de máquinas, pequenas mudanças de projeto, falta de matéria prima e variações de demanda.

Outra proposta de classificação ocorre quando se agrupa as definições em **flexibilidade real**, como a capacidade de superar mudanças efetivas, e **flexibilidade potencial**, com a capacidade de possibilitar soluções alternativas que façam frente a um universo indefinido de mudanças (BARAD; SIPPER, 1988).

No Quadro 2.1 é apresentado um resumo das principais conceituações de flexibilidade da manufatura, até aqui apresentadas:

QUADRO 2.1 – Resumo das principais conceituações de flexibilidade da manufatura

Autor	Critério de classificação da flexibilidade da manufatura – Flexibilidade de:
Sethi e Sethi (1990) e Remesech e Jayakumar (1991),	• Meios de produção • Operação • Processo ou de mix • Produto • Rota • Volume • Expansão • Programação • Produção • Materiais • Mão de obra • Mercado
Hyun e Ahn (1992)	• Estratégica • Tática • Operacional
Barad; Sipper (1988).	• Real • Potencial

2.2.2 Flexibilidade, incerteza e estratégia

A flexibilidade está intimamente ligada à incerteza do ambiente de manufatura, em todos os níveis da organização. A flexibilidade em sua infinidade de significados intrínsecos, incluindo adaptabilidade, agilidade, elasticidade, maleabilidade, plasticidade, resiliência, entre outros, pode ser uma resposta a algumas das incertezas e pressões causadas pelo ambiente externo sobre a manufatura (EVANS, 1991). O tipo de ação frente às incertezas pode ser proativo ou reativo, determinando assim, o nível de flexibilidade da manufatura.

Um estudo empírico realizado em 35 manufaturas de máquinas ferramentas observou que a incerteza influencia a flexibilidade da manufatura e essa por sua vez influencia o desempenho da organização como um todo (SWAMIDASS; NEWELL, 1987). Dessa maneira, a flexibilidade facilita a adaptação às incertezas de mercado e de processo, e a necessidade de flexibilidade cresce com o aumento das incertezas, conforme pesquisas realizadas (TOMBAK; MAYER, 1988; CHEN et. al., 1992).

Com isso, a implicação de incorporar flexibilidade à organização, pode ser uma resposta para as incertezas externas e internas a ela (RAKESH, et. al. 2000). De outro ponto de vista é observado ao integrar-se a flexibilidade e os sistemas flexíveis à organização, sua estratégia corporativa, bem como o seu *marketing*⁷ corporativo, podem ser influenciados positivamente (PRABHAKER, et. al., 1995). Esta estratégia de ações proativas e reativas sugere a necessidade de investigar e integrar a flexibilidade como parte da diretriz geral de uma organização (RAKESH et. al., 2000).

A ação frente à incerteza de mercado pode ser visualizada em duas perspectivas, uma da função *marketing* e a outra da função manufatura – ambas baseadas na flexibilidade (CHENG et. al., 1997):

- Do ponto de vista da função *marketing* - baseado na flexibilidade, considera-se a flexibilidade de volume do produto, a flexibilidade do *mix* de produtos e a

⁷ *Marketing*, do inglês, disciplina que estuda as relações entre empresa, mercado e cliente (CAMBRIDGE, 1995)

flexibilidade de expansão, isto é, a partir da capacidade de acompanhar a dinâmica das mudanças de mercado.

- Do ponto de vista da função manufatura – baseada na flexibilidade, inclui-se a flexibilidade de programação, de intercâmbio de máquinas e equipamentos, de arranjo da força de trabalho (mão-de-obra), de utilização dos materiais e dos processos, constituindo-se a flexibilidade inerente aos recursos de manufatura e do sistema de gerenciamento da produção, que devem corresponder aos níveis de flexibilidade desejados pelo mercado.

A flexibilidade é normalmente considerada somente como uma resposta de adaptação às incertezas de mercado (GUPTA; GOYAL, 1989), é importante que uma empresa seja proativa e redefina essas incertezas de mercado, capitalizando os benefícios da redução de *lead times* e da introdução mais freqüente de novos produtos, fornecendo aos seus clientes, serviços melhores a partir de uma flexibilidade superior da manufatura. Com isso, a empresa cria em relação aos seus concorrentes, uma diferenciação por apresentar um produto superior, devido a essa estratégia de negócio, podendo estabelecer um fortalecimento da sua vantagem competitiva. A reação da empresa ao mercado não pode ser passiva, ela deve agir sobre o mercado, influenciando-o pela sua estratégia de negócio com base na flexibilidade (RAKESH et. al., 2000).

A flexibilidade aplicada à manufatura tem importância direta na competitividade da empresa, em razão das atuais demandas e incertezas de mercado. A empresa tem que estar preparada para se modificar com rapidez e eficácia, para fazer frente à concorrência e atender ao cliente, conseqüentemente aliada à flexibilidade na manufatura esta a necessidade de flexibilidade do edifício industrial. Na seção seguinte é realizada a revisão bibliográfica no que tange à flexibilidade do edifício industrial, como consequência dessa necessidade gerada pela flexibilidade da manufatura, a partir dos conceitos *lean*.

2.3 FLEXIBILIDADE DO EDIFÍCIO INDUSTRIAL

2.3.1 Conceituação da flexibilidade do edifício industrial

Da mesma forma que discutido no caso da manufatura, também para o edifício industrial há inúmeras definições de flexibilidade, como resultado do enfoque que é dado em sua interpretação. Neste estudo o edifício industrial é enfocado como um sistema hospedeiro da manufatura, e como tal, deve satisfazê-la como a um cliente exigente, dinâmico e requintado. A flexibilidade do edifício industrial é entendida como uma consequência da aplicação de soluções construtivas mais flexíveis de infra-estrutura, que confirmam um alto grau de adaptabilidade a este sistema, o edifício industrial. A partir do conceito de flexibilidade definido por Martucci (1990:312): “Flexibilidade é o grau de variabilidade técnica e tecnológica que os materiais de construção, componentes e subsistemas podem assumir quando de sua inserção nos projetos e produção de sistemas construtivos”, como decorrência, cada uma das soluções construtivas constituídas de flexibilidade adicionada ao conceito do sistema edifício industrial, vai tornando-o mais flexível. Se o edifício industrial é provido de um potencial de flexibilidade, ele terá maior facilidade em adaptar-se às modificações requeridas pelos seus usuários, durante sua vida útil (HILLIER E LEAMAN, 1972). A maior flexibilidade possível deve ser introduzida nos projetos dos edifícios industriais, pois isso os preparará para as mudanças tecnológicas do futuro, resultando em economia nas adaptações subseqüentes que se fizerem necessárias (MUNCE, 1960). Conseqüentemente, é necessário analisar a natureza das modificações em relação aos requisitos do edifício e de seus usuários, examinando as definições, conceitos e critérios de flexibilidade, e determinando os requisitos específicos de flexibilidade para cada edifício (FRIGÉRIO, 1994).

2.3.2 Implicações das mudanças da manufatura no edifício industrial

A necessidade de um estudo do *layout* ocorre sob várias circunstâncias. Por exemplo, algumas das situações mais comuns que acontecem no contexto do *layout* da manufatura, e que podem ocasionar adaptações no edifício industrial, incluem-se as seguintes (TOMPKINS; WHITE, 1996):

- Mudança de projeto de um produto existente, a eliminação de produtos e a introdução de novos produtos.
- Mudanças nas seqüências de processo para produtos em aplicação, substituições de equipamentos de processo, e mudanças nos equipamentos específicos ou de uso geral, por exemplo, a partir da ferramenta *Kaizen*.
- Mudanças nas quantidades produzidas associada à escala de produção (*mix*), exigindo capacidade de mudança.
- Mudanças na estrutura organizacional, tais como mudanças na filosofia de gerenciamento, no que concerne às estratégias de produção, tais como a adoção dos conceitos da ferramenta *lean*, *Just-in-time*.

Os requisitos da manufatura mudam com frequência, é desejável se planejar para a mudança e desenvolver *layouts* mais flexíveis, isto é, que possam ser facilmente modificados, ampliados ou reduzidos (PROPST, 1981). A flexibilidade pode ser obtida utilizando: equipamentos modulares; estações de trabalho; células de trabalho; equipamentos para manuseio de materiais; equipamentos de produção de uso geral; sistemas modulares de fornecimento de utilidades e serviços; sistemas construtivos que se utilizem do conceito de módulos e de padronização. Adicionalmente, a concepção da infraestrutura industrial⁸ pode ter um impacto significativo no custo e na facilidade de implantação (TOMPKINS; WHITE, 1996).

Antes de aprofundar-se no que planejar para a mudança, deve-se observar que muitas das empresas, possuem ciclos de expansão e declínio, o que é muito natural no meio dos negócios. Em poucas palavras o ambiente de manufatura é bastante dinâmico, em consequência o edifício industrial, como infra-estrutura para a manufatura, da mesma forma deve ser tratado como dinâmico. Por semelhança aos negócios, interessante ter-se uma estratégia de longo prazo. No que tange ao edifício industrial, aspectos de flexibilidade

⁸ Infra-estrutura industrial, no inglês, *facilities*, vocábulo que engloba todos os bens móveis e imóveis, insumos e serviços que contribuam para a consecução das atividades exercidas no interior do perímetro de um empreendimento (TOMPKINS, et. al., 1996). Nesse texto utiliza-se a denominação de edifício industrial, com o mesmo sentido de infra estrutura industrial, somente no que tange a concepção, instalação e modificação do mesmo. Reservando ao vocábulo *facilities*, o senso comum utilizado no Brasil, para administração, operação e manutenção dessa infra-estrutura.

podem ser maximizados se for realizado um planejamento que antecipe os futuros requisitos da manufatura, e que preveja as necessidades de adaptações neste edifício industrial em razão das mudanças na manufatura (por exemplo, um plano diretor para o edifício industrial, associado ao plano estratégico de manufatura).

A adoção de um planejamento para o edifício industrial pode proporcionar os meios para uma adaptação rápida à mudança na manufatura, seja no sentido da necessidade de aumento de capacidade num curto espaço de tempo ou operando eficientemente mesmo em níveis abaixo da capacidade. Já na concepção, é interessante que o edifício industrial seja flexível para corresponder ao alto grau de dinamismo requerido no decorrer de sua vida útil.

Nota-se que a variação nos requisitos da produção não é interpretada como uma necessidade de modificação no edifício industrial. Frequentemente, as oportunidades de ajustes podem tornar-se mais eficientes, através de: modificações nos seqüenciamentos de máquinas, na melhoria da manutenção dos equipamentos, no balanceamento do fluxo dos materiais; na melhoria da relação entre cliente e fornecedor identificando a importância das datas de entrega dos produtos. Quando tudo isso falhar, parece ser o momento de adotar um novo *layout* no edifício industrial. Ou em alguns casos, pode ser mais fácil aplicar modificações pontuais, caso o custo seja marginal. E quando essas situações acontecem a infra-estrutura deve ser flexível suficientemente para acomodar a mudança (TOMPKINS; WHITE, 1996).

Como desenvolver um *layout* mais flexível, a partir de uma lista de sugestões (HARMON; PETERSON, 1990):

- As unidades produtivas que compõem a fábrica podem ser reorganizadas para melhorar o *status* da manufatura.
- O máximo perímetro de acesso pode ser providenciado para receber e expedir materiais, componentes e produtos o mais próximo possível e prático entre as unidades.
- A aproximação de todas as unidades dedicadas ao produto ou à famílias de produtos da unidade final do processo pode minimizar estoques, perdas, e aumentar a comunicação.

- As unidades de fornecimento de componentes comuns em uma unidade centralizada podem reduzir as distâncias de viagens.
- A redução do tamanho da fábrica pode reduzir perdas de tempo e movimentação de trabalhadores.
- A eliminação do estoque central de materiais, componentes e conjuntos com a transferência da entrega diretamente nas respectivas unidades produtivas que irão utilizá-los, pode reduzir os custos.
- A quantidade de reorganizações, que serão necessariamente realizadas em futuras ampliações ou mudanças, deve ser minimizada.
- Os escritórios e serviços auxiliares configuram-se melhor localizados no perímetro da fábrica.
- A relação entre os espaços de circulação e os espaços do processo de produção, minimizada.

2.3.3 Aspectos de modificação do edifício industrial

Frigério (1994) propõe três aspectos principais de modificações nos edifícios industriais: de origem interna, de origem externa, por obsolescência.

Mudanças de ordem interna em edifícios industriais ocorrem por três razões: a primeira, por razões organizacionais, como mudança na demanda de mercado, introdução de novos produtos, e a adoção de novas tecnologias ou novos sistemas de produção (por exemplo: mudanças de modelo e estilo; introdução de meios avançados de confecção do produto; uso de automação na produção; uso dos conceitos de *just-in-time*, para o controle e distribuição de materiais); a segunda, para acomodar sistemas diferentes de organização do trabalho (por exemplo: organização por grupo de trabalho; organização por célula de trabalho; serviços de pré-montagens de conjuntos); terceira, por questões econômicas de ordem geral ou específica (por exemplo, condições econômicas de mercado ou condições financeiras da empresa).

As mudanças na manufatura que resultam das variáveis organizacionais podem ter inúmeras implicações arquitetônicas, se o edifício industrial foi idealizado para acomodar

certos requisitos de mudança, poderá haver a necessidade da conformação de *layouts* de função variável. Geralmente, há conseqüências no edifício industrial quando ocorre a mudança de um produto ou processo, por exemplo: na capacidade de suporte de piso industrial, aparecimento de algum agente poluidor, variação na temperatura e umidade relativa do ambiente, problemas acústicos, e de vibrações, nos painéis de controle e ainda possível mudança de posição e da disponibilidade de utilidades e serviços.

Somando-se a isso, as mudanças organizacionais que ocorrem no decorrer do tempo, se refletem em diversos parâmetros como: no número de ocupantes do edifício como um todo ou em parte dele; nas mudanças dos espaços necessários para acomodar as atividades; no número de horas de uso do edifício. Todos significando mudanças físicas no interior do edifício (DAVIS, 1989).

Deve-se lembrar que “alterações no interior de edificações são caras e é necessário descobrir a freqüência de mudanças, antes de se planejar, especialmente, os recursos” (COLWAN, 1963).

Mudanças de ordem externa quando a ampliação ou expansão ocorre e o edifício teve esgotada sua capacidade de acomodar parte ou toda a mudança requerida pela organização. De fato, “ampliação não é diferente de mudança, mas uma categoria de mudança” (AL-NIJAIDI, 1985), assim “quando a mudança interna não é suficiente para abrigar o crescimento da manufatura, ocorre ampliação ou expansão” através de (AYLWARD, 1970): uma estrutura adjacente maior; adição de pequenos espaços; reposicionamento do todo para uma nova estrutura; reposicionamento de parte para uma nova estrutura.

Existem fatores limitantes para a expansão, tais como: limites dimensionais (tamanho e características do sítio industrial), limites econômicos (financiamento para expansão), e limites de uso e ocupação do solo (taxa de ocupação, zoneamento por uso e fator de insolação). Ainda, podem ser encontradas limitações relativas às características da estrutura do edifício, do tipo de organização no interior do edifício, e quanto ao sistema de utilidades. Do mesmo modo, quando se examina a possibilidade de ampliar o próprio edifício, existem variáveis que podem afetar a ampliação, tais como a estrutura, o fechamento, a circulação e as ampliações dos sistemas de utilidades (WEEKS, 1960).

Obsolescência pode ser caracterizada como uma multiplicidade de fatores inter-relacionados. Isso pode incluir a inadequação funcional e financeira da instituição, a deterioração física da edificação ao longo do tempo, fatores estéticos, localização inadequada. Por exemplo, a obsolescência de edifícios industriais em Nova Iorque, sugere a existência de fatores de inflexibilidade e degeneração devido às condições ambientais, que são caracterizadas pelo abandono das premissas tradicionais de manufatura (COWAN, 1965).

As perdas no edifício industrial, desde a Segunda Guerra Mundial, ocorrem devido à preocupação com a redução de custos e o abandono da manutenção do mesmo. O edifício industrial contribui com 18% do custo de implantação do empreendimento de manufatura, e usualmente com 5% anuais deste mesmo custo para manutenção. Assim, a flexibilidade do edifício industrial é fundamental e crítica para a eficiência de longo prazo do empreendimento de manufatura (DRURY, 1986).

Todavia, além desses fatores, muitos autores concordam que a obsolescência funcional ocorre antes da obsolescência física da edificação. A introdução de novos processos e técnicas pode promover de forma precoce a obsolescência do edifício industrial, a partir da demanda funcional maior que a eficiência planejada para o projeto. Com isso, não só um projeto mediano e uma localização inadequada, como também os requisitos devidos a mudanças tecnológicas podem causar a obsolescência do edifício industrial. Uma pesquisa sugere que muitas das fábricas na Inglaterra estavam funcionalmente obsoletas já nos anos 80, pois sua idade média era de 35 anos (FRIGERIO, 1996).

Os três aspectos relativos à mudança do edifício industrial têm implicações significativas, envolvendo os conceitos de adaptabilidade e flexibilidade.

2.3.4 Adaptabilidade do edifício industrial

A habilidade de uma empresa responder satisfatoriamente às pressões externas e internas causadas pelas mudanças em cada solicitação da manufatura ao longo do tempo é diretamente proporcional à flexibilidade e à adaptabilidade inerentes ao edifício industrial. Entretanto os termos flexibilidade e adaptabilidade são definidos de diversas formas por diversos pesquisadores do edifício industrial, da mesma forma que para manufatura, como

relatado em 2.2.1. Por exemplo, a flexibilidade do edifício industrial, implica em aceitar o crescimento da manufatura através da expansão do edifício industrial e da mudança nos principais processos fabris, sem a completa parada da produção ou da necessidade de reconstruir todo o edifício industrial (DRURY, 1986).

Outro autor, discorrendo sobre mudanças na manufatura, observa que sem causar modificações no edifício industrial, tais como ampliações internas ou externas ao edifício, a flexibilidade pode ser definida como (AL-NIJAI, 1985):

- A capacidade de adaptação interna, incluindo a expansão interna a partir da adição de um pavimento mezanino.
- A oportunidade de expansão externa.

Em Cambridge, no *St. John's Innovation Centre*, um condomínio de áreas industriais, estabelece uma forma diferente e prática de flexibilidade, aonde a flexibilidade é adquirida quando os locatários necessitam de mais ou menos espaço, transferindo-os para outros módulos maiores ou menores dentro do próprio condomínio. Essa solução é fácil de ser aplicada no caso de condomínios de múltiplos módulos de locação, pois diante de uma situação de necessidade de capacidade adicional ou de redução de capacidade física, as empresas podem ser realocadas em módulos com tamanho adequado às suas necessidades de expansão ou redução de espaço. Quando a empresa cresce ainda mais, e os módulos maiores não são mais suficientes, a empresa pode escolher entre mudar para o interior do *Cambridge Science Park*, que é uma área de expansão do próprio condomínio ou para outra localidade.

Quando a adaptabilidade é vista de diferentes formas, ela ganha novamente uma maior dimensão de definições. A OECD / ONU (Organização para o Desenvolvimento e Cooperação Econômica da Organização das Nações Unidas) caracteriza a adaptabilidade da seguinte forma: quando a diferença entre a demanda e a previsão de projeto torna-se muito grande, a modificação nas características do edifício industrial por adaptação pode somente ser feita por reorganização interna, mudança para outro edifício, ou pela adição de outros elementos construtivos, utilidades e serviços, bem como alteração das características de uso do edifício industrial (OECD, 1976).

Outros usam adaptabilidade para indicar a qualidade da flexibilidade (AL-NIJAI, 1986):

- Flexibilidade é a habilidade em adaptar-se às circunstâncias de mudança.

- Flexibilidade é a adaptabilidade que um ambiente ou artefato tem e que o conduza ao menor esforço para mudança de uso.
- Flexibilidade é a capacidade de possibilitar rearranjos, reorganização e expansão.

Já, Drury (1986), sintetiza de forma prática e representativa as diversas correlações entre adaptabilidade e flexibilidade para mudanças no edifício industrial,

“Adaptabilidade implica na aceitação rápida da mudança pela capacidade interna construída de uma empresa, onde exista um ou mais processos ou sistemas de manufatura, e em aceitar pequenos detalhes de modificação sem causar paradas da produção ou de reconstruir áreas do edifício industrial”

Estas definições elencadas, do ponto de vista da flexibilidade, conceituam-na como a habilidade de acomodar mudanças com ou sem remoções, modificações ou inserção de elementos no edifício industrial. O conceito adotado neste trabalho é aquele que considera que existe um potencial de flexibilidade inerente a todos os edifícios, através dos quais essa flexibilidade pode variar em intensidade, e a adaptabilidade é um dos fatores que concorre diretamente para a maior ou menor flexibilidade do edifício industrial. Algumas adaptações são relativamente fáceis, tais como: mudanças dos equipamentos ou a divisão de ambientes, ao mesmo tempo outras são mais dificultosas para executar: como o reposicionamento de paredes, ou da estrutura principal do edifício industrial. O *continuum* existe aonde as modificações são mais ou menos fáceis, e a dimensão da adaptação necessária para acomodar as modificações é utilizada como indicador da extensão de flexibilidade do edifício industrial. Quando nenhuma adaptação é necessária, ainda, que ocorram mudanças de uso do edifício, a flexibilidade presente do edifício é considerada alta (FRIGÉRIO, 1994).

Deve ser feita, ainda, a distinção entre a flexibilidade presente e a potencial. Se de um lado a flexibilidade presente no edifício industrial pode ser medida pela alta ou baixa capacidade em acomodar modificações durante sua vida útil, por outro lado é extremamente difícil e arriscado prever como podem apresentar-se no decorrer dos anos vindouros o desenvolvimento tecnológico e organizacional, e quais seriam os diferentes requisitos impostos pelas mudanças sobre as premissas atuais que conceituam o edifício industrial.

Para este estudo optaremos pelas definições de flexibilidade e adaptabilidade escritas por Frigério (1986:208), em síntese:

Flexibilidade (em relação ao edifício industrial), “a habilidade de adequar-se às mudanças com maior ou menor intensidade de modificações ou inserções no edifício”;

Adaptabilidade, “a qualidade de facilitar a execução de uma ou mais modificações físicas nos elementos do edifício que o preparem para adequações mínimas em razão de uma nova mudança”.

Neste trabalho, são utilizados os conceitos de flexibilidade potencial, para no máximo de duas mudanças sucessivas subseqüentes, bem como dos conceitos de adaptabilidade para a identificação das soluções construtivas que concorrem para a maior flexibilidade do edifício; são consideradas como variáveis: os sistemas, os subsistemas, os elementos e os sub-elementos do edifício industrial onde se estabelecem e podem ser identificadas as soluções construtivas de modificações requeridas pela manufatura *lean*.

2.3.5 Variáveis de flexibilidade do edifício industrial

Na literatura encontram-se diversas classificações quanto a variáveis de flexibilidade do edifício industrial. Existe uma classificação estabelecida por Frigério (1994), em que essas variáveis são denominadas de fatores de flexibilidade. No sentido de estabelecer premissas para identificar os fatores de flexibilidade estabelecidos por Frigério (1994), são consideradas duas condições inerentes ao edifício industrial: a edificação (pisos, fechamento e cobertura) e a infra-estrutura de serviços.

As modificações na edificação e na infra-estrutura de serviços causam interferências no processo produtivo e conseqüentemente, custo maior. A edificação e a infra-estrutura de serviços são os principais elementos condicionadores da flexibilidade do edifício industrial, este conceito pode ser verificado a partir das seguintes características⁹ do edifício industrial:

- Espaço
- Edificação

⁹ Frigério (1994) usa o termo características para dividir o edifício industrial e estudá-lo quanto à flexibilidade, mais adiante neste trabalho usaremos o termo sub-sistemas para uma divisão semelhante.

- Infra-estrutura de serviços (comumente chamada no meio industrial de sistema de utilidades)
- Sistemas de circulação

Para cada uma dessas características do edifício são enumerados por Frigério (1994), fatores que podem afetar a flexibilidade, conforme apresentado no Quadro 2.2.

No sentido de se reduzir essa lista a uma lista facilmente gerenciável para o estudo de flexibilidade do edifício industrial, e decidir-se quais desses fatores de flexibilidade que seriam relevantes estatisticamente e poderiam ser utilizados para o estudo de uma situação genérica, foi desenvolvida numa pesquisa na região de Oxford, Inglaterra. A partir de uma amostra de 147 empresas em diversos segmentos industriais, foram determinados estatisticamente os índices de relevância, que consideram a frequência de solicitações de modificações pela manufatura para cada um dos fatores de flexibilidade do edifício industrial durante um período de três anos, a saber: 1991 a 1993 (FRIGÉRIO, 1994). No Quadro 2.3 são elencados os dez fatores de flexibilidade¹⁰ que essa pesquisa obteve a partir do estudo estatístico, que considerou como relevante para a amostragem os dez fatores que obtiveram as dez maiores frequências de solicitações de modificações, denominando as frequências obtidas como índices de relevância para a flexibilidade. Ou seja, para essa amostra de 147 empresas os índices de relevância indicam os dez fatores que foram trabalhados com soluções mais flexíveis no sentido de atender as solicitações de modificações da manufatura, e que exibem as dez maiores frequências incidentes de solicitações de modificação do fator de flexibilidade inicial (Quadro 2.2) nos edifícios industriais dessa amostra de Oxford.

Numa segunda pesquisa aplicada às mesmas 147 empresas, utilizaram-se esses fatores selecionados para a análise da flexibilidade do edifício industrial a partir da flexibilidade de cada um dos fatores relativamente às mudanças internas, externas e obsolescência.

¹⁰ Frigério (1994) chama de fatores de flexibilidade o que será denominado mais adiante neste trabalho de elemento.

QUADRO 2.2 – Classificação das características dos edifícios (FRIGÉRIO, 1994)

SISTEMAS		FATORES DE FLEXIBILIDADE	
1	Espaço	1.1	Largura e comprimento da edificação
		1.2	Número de pavimentos
		1.3	Áreas dos pavimentos
		1.4	Pé direito
		1.5	Expansão interna
		1.6	Expansão externa
		1.7	Porcentagem de ocupação
		1.8	Zoneamento de áreas
2	Edificação	2.1	Sistemas estruturais
		2.2	Espaçamento entre colunas e pilares
		2.3	Barras de carga
		2.4	Esquadrias
3	Infra estrutura de serviços (utilidades)	3.1	Climatização
		3.2	Exaustão
		3.3	Energia, telefonia e dados
		3.4	Hidráulica
		3.5	Iluminação
4	Sistema de circulação	4.1	Escadas
		4.2	Elevadores
		4.3	Ruas e passeios
		4.4	Portarias

QUADRO 2.3 – Fatores de flexibilidade relevantes ao estudo do edifício industrial (FRIGÉRIO, 1994)

SISTEMAS		FATORES DE FLEXIBILIDADE		ÍNDICE DE RELEVÂNCIA
1	Espaço	1.8	Localização dos departamentos	11
		1.6	Expansão dos departamentos	11
		1.5	<i>Layout</i>	10
		1.5	Mezaninos	6
2	Edificação	2.2	Posição das colunas e pilares	8
3	Utilidades	3.4	Água potável	12
		3.3	Proteção de incêndio	12
		3.3	Distribuição de energia	10
		3.3	Telecomunicações via cabo	9
		3.5	Iluminação	6

Fernandes (2005) apresenta outra classificação por fases de execução do edifício industrial, através de uma estrutura analítica de projeto para acompanhamento de execução de edifícios industriais, organizada conforme os itens do Quadro 2.4. Embora, não sejam fatores de flexibilidade conforme apresentados por Frigério (1994) (Quadro 2.2), essa estrutura analítica de projeto de um edifício industrial facilita através dos sistemas e fases estabelecidos a identificação de soluções para cada um dos sistemas, que podem servir de base para a identificação da maior ou menor flexibilidade da solução construtiva adotada em cada uma das fases.

QUADRO 2.4 – Estrutura analítica de projeto (FERNANDES, 2005)

SISTEMAS		FASES	
1	Estruturas metálicas	1.1	Pré- fabricação e montagem de estruturas
		1.2	Tapamento lateral e cobertura
2	Mecânica	2.1	Montagem de equipamentos
		2.2	Testes a frio e a quente
3	Tubulação	3.1	Pré-fabricação e montagem de tubulações e suportes
		3.2	Inspeção de soldas
		3.3	Revestimento térmico das tubulações
		3.5	Testes das tubulações
4	Elétrica	4.1	Pré-fabricação de suportes, painéis, peças e barramentos
		4.2	Montagens de eletrodutos, aparelhos e dispositivos
		4.3	Lançamento de fios e cabos
		4.4	Montagem do sistema de aterramento
		4.5	Montagem do sistema de iluminação
		4.6	Montagem de equipamentos elétricos
		4.7	Testes elétricos
5	Instrumentação	5.1	Montagem de tubulação, painéis e instrumentos
		5.3	Testes de instrumentação
6	Apoio à montagem	6.1	Construção civil
		6.2	Topografia
		6.3	Levantamento e manuseio de cargas
7	Pintura	7.1	Preparação (Jateamento)
		7.2	Pintura de estruturas, tubulações e equipamentos
8	Montagens especiais	8.1	Montagens de tanques e esferas
		8.2	Montagens de oleodutos e gasodutos
		8.3	Montagens de transportadores e alto-fornos

2.3.6 Elementos constituintes do edifício industrial para o estudo da flexibilidade

O estudo da flexibilidade do edifício industrial inspira os diversos pesquisadores a propor múltiplas interpretações que possam estabelecer a dimensão da flexibilidade em cada elemento que compõe o edifício industrial, tendo em vista o atendimento das solicitações de modificações devido às mudanças na manufatura.

Entre outras interpretações, uma que complementa aquelas citadas anteriormente no item 2.3.5, é proposta por Mesquita (2000), que estabelece um detalhamento a partir do processo construtivo para edifícios, em sistemas construtivos, subsistemas construtivos e grupos de elementos construtivos.

A propósito da definição de sistema construtivo, salienta-se a definição proposta por Martucci (1990:115):

“o processo construtivo não se limita apenas ao desenvolvimento da tecnologia (sistema construtivo); incorpora valores como: a técnica (o saber executar), o uso e a manutenção, todos focados em uma ótica histórica de evolução”.

O sistema construtivo representa o desenvolvimento da tecnologia da construção compatível com as características de cada região e das necessidades reais de seus usuários.

Para o estudo do edifício é feito o detalhamento do sistema construtivo, estabelecendo-se os subsistemas construtivos que designam os grupos de elementos (componentes) que compõem e atribuem características e funções específicas ao edifício (MESQUITA, 2000).

No quadro 2.5 apresenta-se sucintamente o desmembramento proposto por Mesquita (2000).

QUADRO 2.5 – Composição de um sistema construtivo e seus respectivos subsistemas (MESQUITA, 2000)

Subsistemas	Composição		Materiais
	Grupos	Componentes	
Estrutural	Fundações	Estacas, sapatas, tubulões, vigas baldrame, etc.	Concreto, aço, madeira, cerâmica, etc.
	Super estrutura	Pilares, vigas, treliças, Lages, arcos, etc	
Estruturas especiais	Escadas e rampas		
Vedações	Coberturas	Telhas	
	Paredes	Alvenarias, painéis	
	Caixilhos	Madeira, alumínio, aço, PVC	
	Pisos	Concreto, cerâmica, pedras	
Instalações	Hidráulica e gás	Água fria, água quente, esgoto, água pluvial, etc.	Tubos de PVC, tubos de aço, bombas
	Elétrica e cabos	Elettricidade, telefonia, som, imagem, etc.	Eletrodutos, quadros de força,
	Mecânica	Elevadores, ar condicionado	Dutos, máquinas, etc.
Acabamentos	Revestimentos, guarnições, louças sanitárias, válvulas e registros, etc.		

3 MÉTODO DA PESQUISA

Segundo Gil (2002), a pesquisa científica se inicia sempre com a colocação de um problema que possua solução. A pesquisa utiliza como metodologia para o seu desenvolvimento as etapas que são apresentadas neste capítulo a partir da questão:

Quais são as soluções construtivas identificadas, que conferem maior flexibilidade ao edifício industrial, em razão das mudanças na manufatura?

O estudo de caso hoje é encarado como o delineamento mais adequado para a investigação de um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto real (YIN, 2001). Para solução dessa questão foi desenvolvido um estudo de caso intrínseco e exploratório como parte dessa pesquisa.

Esta pesquisa é desenvolvida nas seguintes etapas:

- 3.1. Levantamento bibliográfico
- 3.2. Elementos de estudo e critérios qualitativos de análise da flexibilidade do edifício industrial
- 3.3. Estudo de caso
- 3.4. Organização de lista de soluções tradicionais *versus* soluções construtivas flexíveis
- 3.5. Conclusões

3.1. Levantamento Bibliográfico

O capítulo de revisão bibliográfica foi dividido de forma a apresentar a literatura numa sequência evolutiva, a partir de uma apresentação resumida dos conceitos de produção *lean* e de flexibilidade da manufatura; na sequência são focados os conceitos de flexibilidade e adaptabilidade para o edifício industrial, considerando-se as classificações elaboradas por

pesquisadores para os elementos constituintes do edifício industrial. A revisão bibliográfica foi assim orientada no sentido de trazer uma visão geral dos conceitos desenvolvidos nos países, dos cinco continentes, onde existem pesquisas sobre flexibilidade para edifícios industriais, com isso a predominância de autores estrangeiros nas referências. Complementarmente procurou-se identificar de que forma os pesquisadores brasileiros classificavam e subdividiam os elementos constituintes do edifício industrial para conduzir suas análises, daí servindo de base para desenvolver-se uma classificação que pudesse facilitar a análise do edifício industrial no contexto desta pesquisa e dentro da realidade brasileira.

3.2. Elementos de estudo e critérios qualitativos de análise da flexibilidade do edifício industrial

Organizou-se uma lista de elementos do edifício industrial, para o estudo da flexibilidade, cujos itens relacionam-se com esta pesquisa e são direcionados à identificação e análise das soluções construtivas adotadas nas modificações do edifício industrial devido às mudanças na manufatura *lean*. Esta lista tem como base a revisão bibliográfica desenvolvida no Capítulo 2 e a planilha, do Apêndice A, a qual é utilizada para cálculo de preço de orientação na aquisição de materiais, equipamentos, serviços e obras para edifícios industriais pela montadora de veículos comerciais do estudo de caso.

O desmembramento do edifício assim elaborado (Quadro 2.5), a partir do sistema construtivo, em associação com as classificações do item 2.3.5 é utilizado neste trabalho para a elaboração de uma classificação derivada que possibilita a ordenação das soluções construtivas identificadas no estudo de caso para a amostra de dezesseis modificações no edifício industrial.

No Quadro 3.1 são apresentados os subsistemas e os elementos dessa lista que foi obtida a partir da associação entre: os fatores de flexibilidade desenvolvidos por Frigério (1994); a composição dos processos construtivos desenvolvido por Mesquita (2000); a estrutura analítica de projeto desenvolvida por Fernandes (2005); e a subdivisão adotada no Quadro A1.1 do Apêndice A.

Importante é salientar que o Quadro 3.1 classifica apenas as partes principais de um edifício industrial convencional, subdividindo-as em subsistemas e elementos, com interesse para o estudo da flexibilidade, podendo ser ampliada ou reduzida de acordo com as peculiaridades de cada edifício em estudo. Para uma visualização mais detalhada dessa lista encontram-se no Apêndice A, os Quadros A.1.2 e A.1.3.

QUADRO 3.1 – Subsistemas e elementos para estudo do edifício industrial

		Subsistemas		Elementos	
Edifício industrial	Edifício	1.	Edificação	1.1	Fundação
				1.2	Estrutura
				1.3	Fechamento
				1.4	Cobertura
				1.5	Elementos especiais
				1.6	Revestimentos
	Layout	2.	Utilidades	2.1	Máquinas e equipamentos
				2.2	Tubulações
				2.3	Condutores
				2.4	Estruturas auxiliares
		3.	Movimentação	3.1	Equipamentos e dispositivos

Foram considerados como critérios qualitativos de flexibilidade as vantagens e desvantagens que cada solução construtiva apresentava em relação a maior ou a menor adaptabilidade às modificações sucessivas do edifício industrial, qualitativamente elegendo-se a solução construtiva com mais vantagens e menos desvantagens como a mais flexível e a solução construtiva que apresentava menos vantagens e mais desvantagens como a menos flexível. E esses elementos e critérios de flexibilidade serviram para analisar as soluções construtivas aplicadas nas modificações descritas no estudo de caso.

3.3. Estudo de caso

O estudo de caso foi desenvolvido no ambiente de uma montadora de veículos comerciais, que fabrica caminhões e ônibus. Este estudo de caso pode ser definido como intrínseco e exploratório, de acordo com Stake (2000):

- Estudo de caso intrínseco: em que o caso constitui o próprio objeto da pesquisa.
- Estudo de caso exploratório: quando o pesquisador almeja conhecer o objeto da pesquisa em profundidade, sem qualquer preocupação com o desenvolvimento de alguma teoria.

3.3.1. Dados sobre a unidade de estudo

Essa montadora de veículos está situada na área urbana da Grande São Paulo, ocupando uma área aproximada de 2.000.000 de metros quadrados, sendo cerca de 500.000 mil metros quadrados ocupados por edifícios industriais, que foram construídos nos últimos cinquenta anos; desde a sua fundação em 1952.

Diferentemente de outras montadoras de veículos, que recebem partes do veículo e a partir delas montam o veículo final, esta montadora mantém sua tradição verticalizada de manufatura, sendo a fabricante dos agregados, que se constituem em: eixos, câmbios, motores, e cabinas para a montagem dos produtos. A essa planta na Grande São Paulo estão vinculadas duas outras plantas fabris, uma no interior do Estado de São Paulo e outra no interior do Estado de Minas Gerais, que utilizam os agregados fabricados na unidade da Grande São Paulo.

Pelas características peculiares dessa montadora, que possui edifícios industriais de diversas idades, com predominância de edifícios em alvenaria de tijolos, revestidos em lito-cerâmica, e pelas mudanças que ocorrem na manufatura, estabelece-se a oportunidade de se identificar e estudar, quanto à flexibilidade do edifício industrial: as modificações executadas e a executar devido à obsolescência; por estar em constante ampliação de seu parque industrial identificar-se e estudar-se, também, as modificações executadas e a executar devido a mudanças de ordem interna e externa (vide item 2.3.2). Esse ambiente, assim, proporciona a vivência com soluções para edifícios construídos, edifícios novos e sua integração, em razão da transformação sucessiva em manufatura *lean*, desde a última década.

Na Figura 3.1 é apresentada a vista aérea da planta da Grande São Paulo dessa montadora onde se desenvolve o estudo de caso,



FIGURA 3.1 – Vista aérea da montadora de veículos comerciais

3.3.2 Identificação da amostra de modificações

Nesse estudo foram identificadas dezesseis diferentes situações de modificação do edifício industrial ocorridas nessa empresa, devido a mudanças na manufatura *lean*. A partir de consultas aos técnicos da área de engenharia industrial dessa montadora de veículos comerciais, que passou por modernizações, entre as quais a adoção de conceitos do *lean thinking*, foram identificadas e selecionadas situações de modificação no edifício industrial, considerando-se os seguintes critérios: modificações que ocorreram nos últimos dez anos e

modificações com custo individual de implantação maior de um milhão de reais. Dessas consultas, foi selecionada uma amostra de dezesseis situações de modificação relevantes a este estudo, que apresentam modificações em um ou mais elementos daqueles estabelecidos no item 3.2. Para a descrição dessas modificações foram realizadas, durante as consultas, entrevistas semi-estruturadas com técnicos da montadora que vivenciaram as modificações da amostra, a partir do seguinte questionário:

- a. Em que ano ocorreu a mudança na manufatura?
- b. Quais os edifícios ou edifício industrial envolvidos na mudança?
- c. Qual a necessidade da manufatura?
- d. Houve alguma ferramenta *lean* que motivou a mudança, qual?
- e. Qual o sistema, sub-sistema e elemento do edifício industrial (Quadro 3.1) afetado pela mudança?
- f. Qual o aspecto da mudança?
- g. Qual a solução construtiva no edifício industrial anterior a mudança na manufatura?
- h. Qual a solução construtiva adotada na modificação do edifício industrial?
- i. Foi aventada outra solução construtiva, qual, por quê não foi adotada?
- j. Dentre essas soluções qual a que sofreria menos adaptações numa subsequente modificação?
- k. Qual o custo da mudança?

As descrições obtidas estão compiladas no Apêndice B.

3.3.3 Impacto econômico da falta de flexibilidade no edifício industrial

Esse item do estudo de caso relata o impacto econômico causado pela adoção de soluções menos flexíveis, ao invés da adoção de soluções mais flexíveis na concepção de um edifício industrial dedicado a instalação dos processos de montagem do produto na montadora de veículos comerciais objeto desta pesquisa, com o objetivo de alertar quanto à necessidade de dotar de maior flexibilidade o edifício industrial. O custo de cada modificação foi obtido a partir do questionário aplicado, na entrevista semi-estruturada, aos técnicos da empresa do estudo de caso, considerando-se: os custos reais de implantação da modificação,

atualizados pelos índices mensais da construção civil do IPEADATA¹¹ para a mesma base temporal de cálculo, agosto de 2008. O impacto econômico das modificações foi exemplificado pela somatória do total das 16 modificações, assim como pelo estudo de duas modificações que ocorreram num curto espaço de tempo num mesmo local, pelos mesmos tipos de demanda da manufatura ilustrando que a não observância de critérios de flexibilidade, muitas vezes, implica em perdas econômicas reincidentes.

3.3.4 Análise das soluções construtivas utilizadas nas modificações do edifício industrial sob o ponto de vista da flexibilidade

Este item possui como sitio de estudo a mesma empresa e a mesma amostra de dezesseis modificações que serviram de base para o item 3.3.1. O objetivo deste item foi avaliar qualitativamente a maior ou menor flexibilidade das soluções construtivas adotadas nessas dezesseis modificações, de acordo com os elementos e critérios de flexibilidade estabelecidos no item 3.2 e o impacto provocado nos custos do edifício industrial, calculado a partir dos orçamentos das modificações, que consideraram os valores dos preços contratados em R\$ dos projetos, materiais, mão de obra, impostos, administração e lucro dos empreiteiros executores, com base nos valores pagos na execução das modificações da amostra. Para serem comparados de forma equitativa os valores mencionados foram atualizados para a base: maio/2008 utilizando-se os índices de variação de preços da construção civil do IPEADATA. É importante salientar que nos valores mencionados estão também considerados os custos de operação, manutenção e substituição dos elementos à medida que vencer sua vida útil, consideradas quantas vezes forem necessárias para equivalerem-se, entre si, proporcionalmente à vida útil mais longa dentre as soluções que estão sendo comparadas.

3.4. Organização de uma lista comparativa de soluções construtivas

A partir dos resultados das análises do item 3.3.3 são compiladas as soluções construtivas adotadas para os edifícios industriais num quadro resumo, e elencadas da menos para a

¹¹ IPEADATA, base de dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada do Ministério do Planejamento do Brasil

mais flexível qualitativamente, utilizando a classificação e os critérios estabelecidos em 3.2. Com o objetivo de salientar a intensidade da flexibilidade das soluções.

3.5 Conclusões

Neste item é realizada uma análise final das soluções construtivas identificadas, que considerará suas possíveis aplicações e limitações a partir da relação de elementos do edifício industrial e dos critérios de flexibilidade do item 3.2.

4.1. Estudo de caso

4.1.1. Impacto econômico nos últimos 10 anos

No Quadro 4.1, as mudanças da manufatura são apresentadas resumidamente, apontando-se as ferramentas *lean* relacionadas, bem como a classificação da flexibilidade de manufatura relacionada a esta mudança que foi necessária na manufatura, de acordo com a classificação elaborada por Sethi e Sethi (1990) e Remesech e Jayakumar (1991) descrita na revisão bibliográfica. As modificações nos edifícios industriais que ocorreram, como consequência das mudanças, são descritas de forma resumida, identificando-se os aspectos da modificação relacionados, conforme a classificação de Frigério (1994), discutida na revisão bibliográfica; relaciona-se também os edifícios afetados, bem como o ano de ocorrência da modificação. A descrição detalhada dessas mudanças e modificações é apresentada no Apêndice B. Na Figura 4.1., são mostradas as localizações das modificações nos diversos edifícios da planta.



FIGURA 4.1 – Localização das modificações

QUADRO 4.1 - Descrição das modificações no edifício industrial em razão de mudanças na manufatura

Número da mudança	Descritivo da mudança na manufatura	Ferramenta lean relacionada	Classificação da flexibilidade de manufatura relacionada	Descritivo da modificação no edifício industrial	Aspectos da modificação	Edifício(s) afetado(s)	ANO
1	Adequação de materiais às normas ambientais	5S	Material	Substituição dos painéis de fechamento	Obsolescência	Ferramentaria	1998
2	Adequação de materiais às normas ambientais	5S	Material	Substituição das telhas das coberturas	Obsolescência	Todos edifícios da planta	2002
3	Adequação de <i>layout</i> de montagem de produtos	Kaizen	Volume / Mix	Demolição e reconstrução de lajes	Mudança interna	Montagem final	2003
4	Ampliação do <i>layout</i> de montagem de produtos	Kaizen	Volume / Mix	Construção de um novo edifício	Mudança externa	Motores	2000
5	Melhoria das condições de trabalho	5S	Meios de produção	Adequação do piso para tráfego de <i>AGV's</i>	Mudança interna	Montagem final	2005
6	Substituição do sistema de pintura	Kaizen	Processo	Construção de um novo edifício	Obsolescência	Montagem bruta	2007
7	Adequação a nova família de produtos	Kaizen	Volume / Mix	Instalação de estruturas auxiliares de fixação de equipamentos	Mudança interna	Montagem de ônibus	2004
8	Aumento da capacidade do sistema de água desmineralizada	Kaizen	Processo	Adequação da central de utilidades	Obsolescência	Central de utilidades	2003
9	Melhoria tecnológica do centro de processamento de dados	5S	Processo	Nova central de resfriamento para o sistema de climatização	Obsolescência	Administração	2006
10	Melhoria da qualidade da pintura de peças pequenas	Kaizen	Processo	Melhoria no sistema de aquecimento da estufa de pintura de peças pequenas	Mudança interna	Estamparia	2007

QUADRO 4.1 - Descrição das modificações no edifício industrial em razão de mudanças na manufatura (cont.)

Número da mudança	Descritivo da mudança na manufatura	Ferramenta lean relacionada	Classificação da flexibilidade de manufatura relacionada	Descritivo da modificação no edifício industrial	Aspectos da modificação	Edifício(s) afetado(s)	ANO
11	Melhoria da qualidade do monitoramento e rateio dos custos	5S	Meios de produção	Instalação de hidrômetros por conjunto de centros de custo afins	Mudança externa	Todos os edifícios da planta	2005
12	Alteração no conceito de içar ferramentas	Kaizen	Meios de produção	Desativação de pontos de suprimento de ar comprimido	Mudança interna	Usinagem	2007
13	Ampliação do número de máquinas ferramenta	Célula de trabalho	Meios de produção	Adequação e otimização da distribuição da carga elétrica instalada	Mudança interna	Usinagem	2004
14	Mudança tecnológica com utilização de robôs	Célula de trabalho	Meios de produção	Adequação da distribuição da carga elétrica instalada	Mudança interna	Montagem bruta	2004
15	Adequação dos transportadores aéreos à nova família de produtos	Kaizen	Volume / Mix	Reforço das estruturas de fixação e sustentação dos trilhos dos transportadores	Mudança interna	Montagem final	1998
16	Adequação dos transportadores aéreos à próxima família de produtos	Kaizen	Volume / Mix	Eliminação de elevadores e mesas de transferência	Mudança interna	Montagem final	2000

Analisando-se o Quadro 4.1:

- Observa-se na Figura 4.2, que 4 (25%) das mudanças referem-se a necessidades de flexibilidade de processo, 2 (13%) de material, 5 (31%) de volume e mix, 5 (31%) de meios de produção.

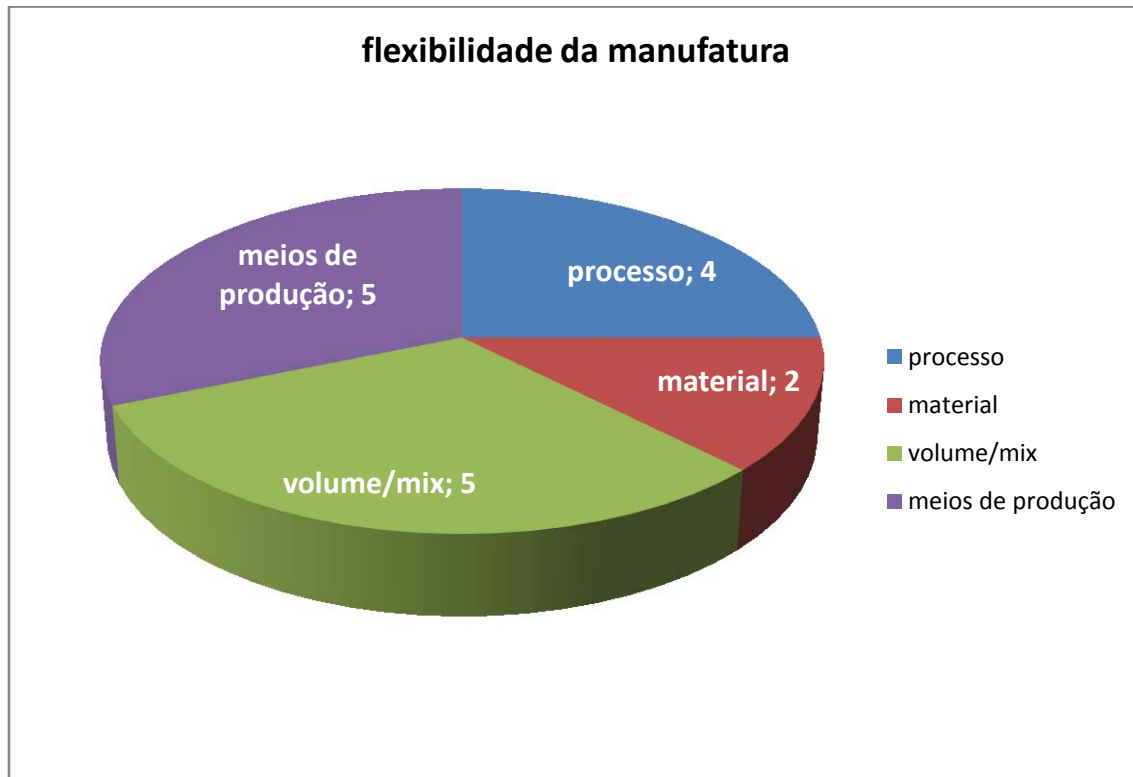


FIGURA 4.2 – Quantidade de mudanças por necessidade da manufatura

- Observa-se na Figura 4.3, que quanto à ferramenta *lean* que gerou a mudança, 9 (56%) das mudanças foram decorrentes de grupos de kaizen, 5 (31%) decorrentes de ações de 5S e 2 (13%) decorrentes da implementação de células de trabalho (Figura 4.3).

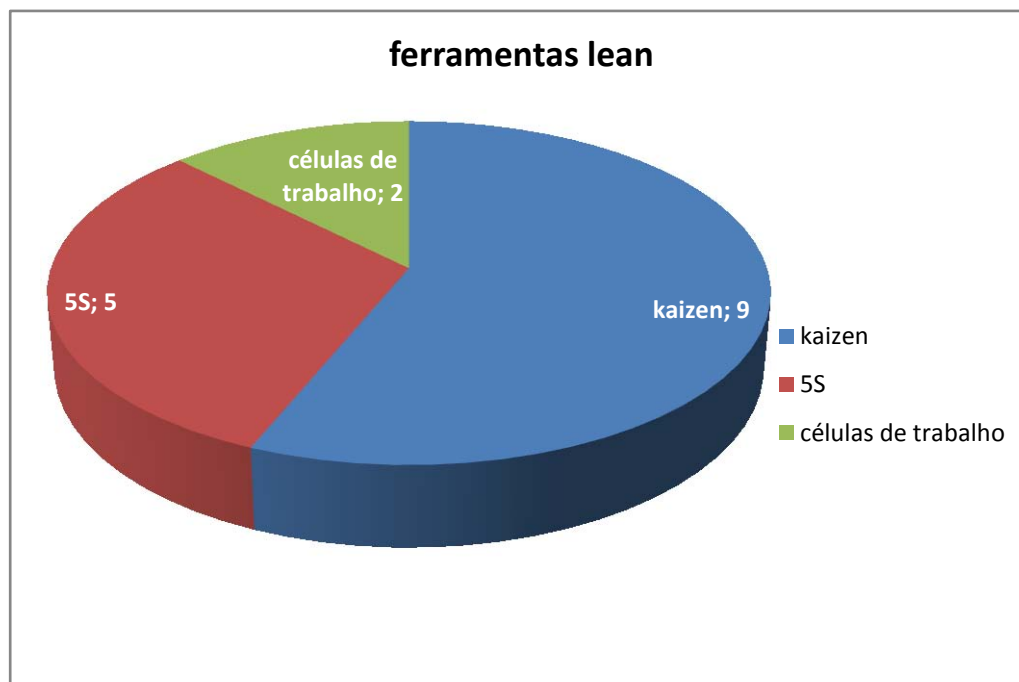


FIGURA 4.3 – Quantidade de mudanças por ferramenta *lean*

- Na Figura 4.4, observa-se que as modificações quanto ao aspecto da mudança foram 9 (56%) referentes a mudanças internas, 2 (13%) referentes a mudanças externas e 5 (31%) referentes a obsolescência.

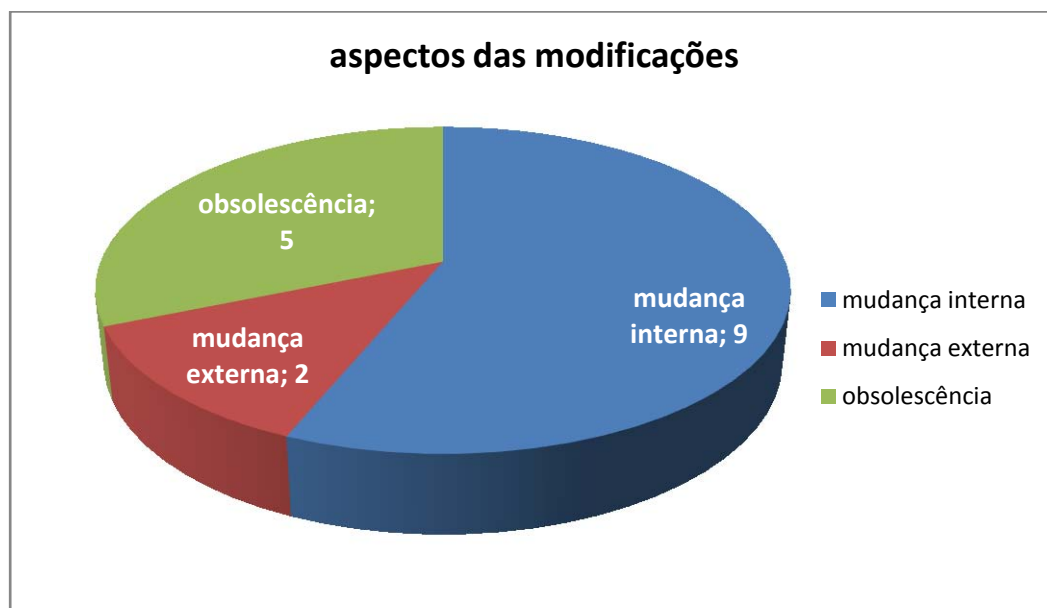


FIGURA 4.4 – Quantidade de modificações por aspecto de mudança

- Na Figura 4.5 observa-se que os edifícios afetados foram: Ferramentaria participando com 1 (6%) modificação, Montagem de caminhões com 4 (25%) modificações, Administração com 1 (6%) modificação, Estamparia com 1 (6%) modificação, Montagem bruta com 2 (13%) modificações, Usinagem com 2 (13%) modificações, Montagem de ônibus com 1 (6%) modificação, Central de utilidades com 1 (6%) modificação, Motores com 1 (6%) modificação, todos os prédios adicionalmente com outras 2 (13%) modificações.

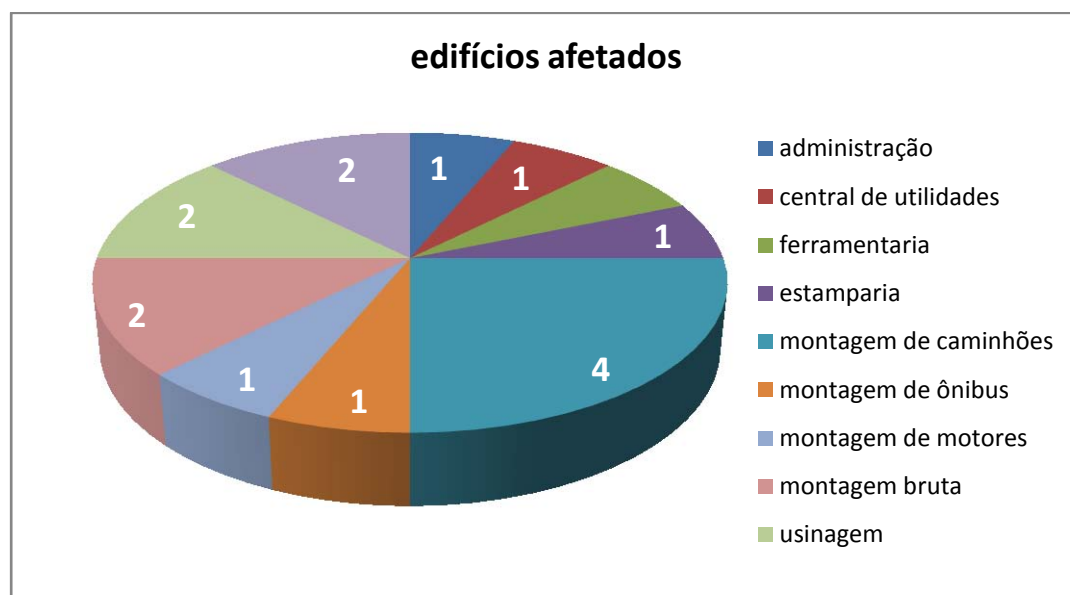


FIGURA 4.5 – Quantidade de modificações por edifício afetado

- Na Figura 4.6 observa-se que ao menos duas modificações ocorrem por ano no interior da planta desta montadora.



FIGURA 4.6 – Quantidade de modificações por ano

No Quadro 4.2 estas dezesseis mudanças são classificadas nas primeiras colunas segundo os subsistemas e elementos do edifício industrial, na última coluna é apresentado o custo aproximado de cada uma das modificações no edifício industrial atualizado para os valores de maio de 2008. Observa-se que as modificações analisadas não impactaram em todos os elementos relacionados no Quadro 3.1, por exemplo: nenhuma modificação afetou fundações.

Observando-se o Quadro 4.2, pode-se ver que estas dezesseis mudanças, com valor individual maior de um milhão de reais, exigiram para sua consecução um investimento total de aproximadamente 36.000.000 de reais em dez anos, o que significa um impacto econômico apreciável, visto que esse investimento foi necessário para modificações no edifício industrial, sem os quais a manufatura não teria como viabilizar as mudanças necessárias para enfrentar as pressões exercidas pela concorrência e corresponder em qualidade, preço e prazo às exigências dos clientes. Considerando-se os preços de mercado praticados em agosto de 2008 para galpões industriais com características do edifício

industrial descrito na Mudança 4, cujo metro quadrado construído calculado custava R\$ 1.500,00, a partir dos preços divulgados pela publicação: Construção e Mercado (2008): com R\$36.000.000,00 poderiam ser construídos cerca de 24.000 m2 em edifícios industriais novos.

QUADRO 4.2 – Custos de modificações no edifício industrial em razão de mudanças na manufatura

QUADRO 4.2 Custos de modificações no edifício industrial em razão de mudanças na manufatura					
Sub-sistema do edifício industrial	Elemento	Número da Mudança	Modificação no edifício industrial	Ano	Custo em R\$ (maio 2008)
Edificação	Fechamento	1	Painéis de fechamento	1998	1.800.000
	Cobertura	2	Telhas das coberturas	2002	2.000.000
	Estrutura	3	Lajes	2003	3.000.000
		4	Novo edifício	2000	1.000.000
		5	Piso para tráfego de <i>agv's</i>	2005	2.000.000
		6	Novo edifício	2007	7.000.000
Utilidades	Estruturas auxiliares	7	Fixação de equipamentos	2004	2.000.000
	Máquinas e instrumentos	8	Central de utilidades	2003	1.000.000
		9	Central de climatização	2006	2.000.000
		10	Sistema de aquecimento da estufa	2007	1.000.000
	Tubulações	11	Instalação de hidrômetros	2005	2.000.000
		12	Suprimento de ar comprimido	2007	1.000.000
	Condutores	13	Distribuição da carga elétrica	2004	2.000.000
		14	Distribuição da carga elétrica	2004	4.000.000
Movimentação	Equipamentos e dispositivos	15	Fixação e sustentação dos trilhos dos transportadores	1998	2.000.000
		16	Elevadores e mesas de transferência	2000	2.000.000
SOMA					36.000.000

Analisando-se mais o Quadro 4.2, observa-se na Figura 4.7, que esta montadora emprega investimentos anuais da ordem de no mínimo 2 milhões de reais em modificações no edifício industrial

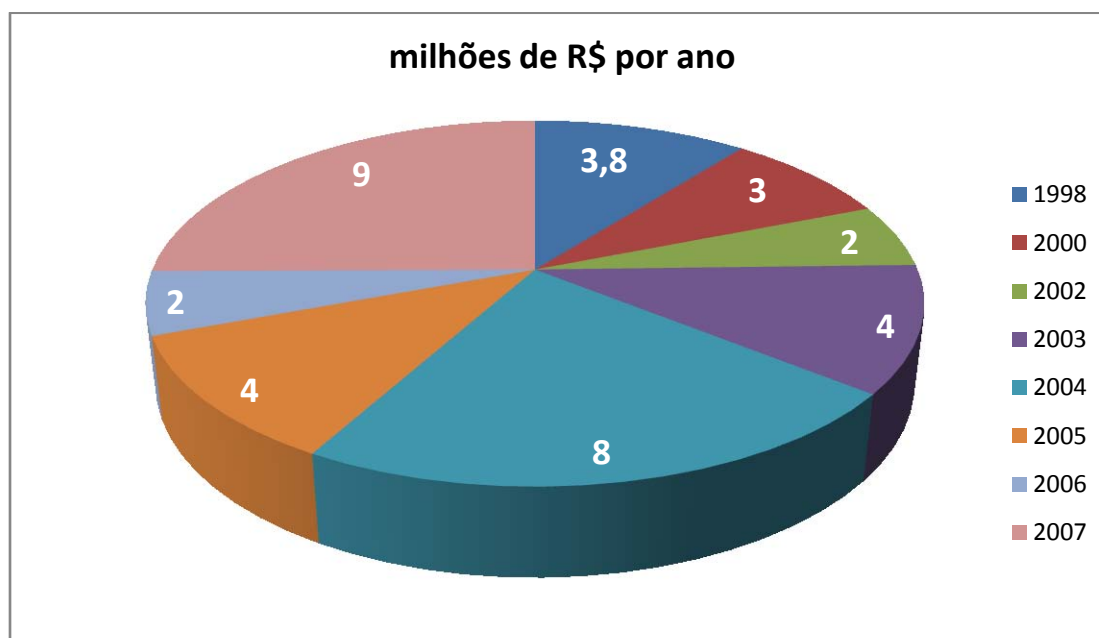


FIGURA 4.7 – Investimentos anuais em modificações do edifício industrial

4.1.2. Exemplo da necessidade de modificações subseqüentes

A análise conjunta das mudanças 15 e 16 da coletânea do Quadro 4.2, ilustra como a ausência de análise sob a luz de critérios de maior flexibilidade na mudança 15 levaram à subseqüente necessidade da mudança 16. Essas duas modificações, 15 e 16, são sucessivas e ocorreram no mesmo local em razão da variação do *mix* de produtos, devido ao lançamento de novos modelos de veículos. Essa variação de *mix* de produtos provocou mudanças na manufatura devido às dimensões das cabinas dos veículos novos, que eram maiores que as dos veículos em produção, exigindo modificações na conformação das partes, na montagem das cabinas e na montagem destas no veículo. Convém esclarecer que a solução construtiva existente, e anterior a mudança 15, fora executada a mais de trinta

anos, e que fora concebida para uma condição de produção em massa, contemplando apenas a produção de um modelo de cabinas com determinadas dimensões, e com o conceito da tração por correntes. Dentre as diversas partes que formam o veículo, a saber: chassi, motor, câmbio, eixos e cabina, os edifícios atuais que abrigam o processo de manufatura de cabinas para o veículo, são três edifícios industriais com idade média de 40 anos, em estrutura de concreto armado, com fechamento em alvenaria de tijolos comuns de barro, revestidos externamente em lito-cerâmica e internamente apenas com emboço e pintura a base de látex da cor branca, com aberturas dotadas de caixilhos basculantes à média altura, com pé direito livre de sete metros nas áreas produtivas, e cobertura em estrutura metálica dimensionada adicionalmente para sustentação de equipamentos de manufatura, com telhas em cimento-amianto, em parte, e telhas metálicas térmicas e acústicas no restante, pela substituição da cobertura, em andamento.

Como se vê na Figura 4.8, através de uma das fachadas, trata-se de edifício tradicional do pós-guerra com projetos desenvolvidos na Europa para as características de manufatura da época, e que já sofreu diversas modificações e adaptações de ordem interna, mas que em razão das suas características apresenta pouca flexibilidade, pois quaisquer modificações se apresentam morosas e onerosas.

O processo de confecção das cabinas estende-se do galpão almoxarifado de chapas, passa pelo edifício da estamparia de laterais, tetos, portas, e capôs, pelo edifício da montagem bruta das mesmas, finalmente chega ao edifício de pintura de cabinas e montagem final do veículo. Diversas modificações foram necessárias nesses edifícios, configuradas pela necessidade da Mudança 15 que ocorreu no ano de 1998, fazendo adequações: de altura nos transportadores aéreos de conjuntos e peças, e conseqüentemente nas estruturas de sustentação; nos cabos de acionamento dos elevadores; das aberturas nas lajes, entre outros, incidindo assim em todos os subsistemas do edifício industrial, devido ao aumento das dimensões e da massa da nova cabine do veículo extra-pesado. Não havia se quer passado nem quatro anos (1998-2001), já eram lançados novos produtos, com dimensões ainda maiores e conseqüentemente se fez necessária a Mudança 16, em razão da pouca flexibilidade da Mudança 15. Assim, a Modificação 15 no edifício industrial executada daquela forma, optando-se apenas pela adaptação do sistema de transportadores, mantendo-

se o conceito de tração por correntes, possibilitou apenas conferir aos subsistemas do edifício industrial características para produção dos veículos recém lançados, com no máximo as dimensões do então veículo novo, a partir de modificações pontuais nos subsistemas do edifício industrial. Como consequência, das modificações pontuais, restritas ao atendimento imediato das necessidades da Mudança 15, novas modificações foram necessárias no edifício industrial para atender a Mudança 16, por falta da adoção de maior flexibilidade às modificações anteriores.

Diferentemente da Mudança 15, de solução restrita e pouco flexível, adotou-se na Mudança 16, um sistema híbrido de transição, passando do antigo sistema de transportadores aéreos por correntes (*Power and free*) conforme Tompkins (1996), para um sistema de transportadores aéreos com unidades transportadoras motorizadas eletro-eletrônicas independentes (*EOM*)¹² conforme Tompkins (1996), aproveitando a estrutura de sustentação dos antigos transportadores.



FIGURA 4.8 – Edifício industrial da década de 1960

Para a manufatura, os dois sistemas se equivalem, porém para o edifício industrial o sistema *EOM* eliminou a necessidade de elevadores e de uma única unidade eletro-motriz de grande porte; reduziu o consumo de energia, pois não trafega ocioso; ocupa menos espaço; aceita, no caso, cabinas com dimensões maiores, minimizando-se assim novas modificações, com o lançamento de novos produtos.

Neste estudo de caso o que se verifica é: se na Mudança 15 tivesse sido adotada a solução da Mudança 16, não se incorreria na precoce inflexibilidade da manufatura e em

¹² *EOM*, do inglês, *Electronic Overhead Monorail* (TOMPKINS, 1996).

consequência do edifício industrial devido às modificações pontuais. A adoção da Mudança 15, não dotou a manufatura de flexibilidade para atender a introdução de novos produtos, a qual por consequência ocasionou a necessidade de novas adequações no edifício industrial para atender a Mudança 16. Verifica-se, ainda, no Quadro 4.2 que as duas soluções resultaram em custos semelhantes, num mesmo local, por uma necessidade subsequente da manufatura, e semelhante à anterior, ou seja, lançamento de novos produtos.

4.2. Análise das alternativas construtivas de modificações no edifício industrial

As necessidades de modificações no edifício industrial em razão das mudanças na manufatura são identificadas nesse estudo a partir das mesmas dezesseis situações de modificação do edifício industrial que foram apresentadas no Quadro 4.1. As soluções construtivas adotadas nas modificações do edifício industrial são analisadas, a partir da discussão segundo os conceitos de flexibilidade, presentes na revisão bibliográfica, resultando numa avaliação qualitativa do potencial de flexibilidade das soluções construtivas adotadas nas mudanças em estudo. São discutidas as vantagens e as desvantagens das alternativas do ponto de vista de propiciar maior flexibilidade ao edifício industrial, bem como o custo incidente no edifício industrial para a alternativa de execução da modificação. São consideradas para esta discussão: alternativas construtivas identificadas nas modificações. A seguir as alternativas construtivas são analisadas de maneira agrupada, conforme o elemento construtivo afetado. O Quadro 4.3 apresenta um sumário das alternativas consideradas, na discussão realizada nos itens seguintes. Por vezes o foco das mudanças e respectiva modificação foi um sub-elemento específico indicado neste Quadro. Além das modificações diretamente ligadas a cada elemento, são indicadas outras modificações que também serviram de subsídio para a discussão das alternativas para cada sub-elemento pelo fato de terem relação com o mesmo.

QUADRO 4.3 – Alternativas construtivas consideradas para análise quanto à flexibilidade

Sub-sistema do edifício industrial	Elemento	Sub-elemento	Número da mudança diretamente relacionada	Numero das mudanças relacionadas	Alternativas construtivas analisadas
Edificação	Fechamento	Vedação vertical	1	4, 6	-alvenaria de tijolos -painéis metálicos termo acústicos -alvenaria de blocos e painéis metálicos termo acústicos
	Cobertura	Telhas	2	4, 6	- telhas em cimento-amianto - telhas metálicas zipadas termo acústicas em aço
	Estrutura	Lajes para equipamentos	3		- vãos nas lajes -reposicionamento dos vãos nas lajes -plataformas metálicas
			4		
		Pisos para equipamentos	5		
			6		
Utilidades	Estruturas auxiliares	Fixação de equipamentos industriais	7	15, 16	- fixação na estrutura de cobertura - fixação em barras de carga - fixação em pórticos
	Máquinas e instrumentos	Instalação de centrais de utilidades	8		- central modular dedicada - central de utilidades com máquinas modulares -central de grande porte
			9		
			10		
	Tubulações	Hidráulica	11	10 (Obs.1)	-tubulações enterradas no solo -tubulações confinadas em galerias -tubulações aparentes em <i>pipe-racks</i>
		Hidráulica	12		
	Condutores	Barramentos	13	4, 6	- circuitos constituídos por fios e cabos - circuitos constituídos por barramentos - circuitos constituídos por barramentos blindados
			14	4, 6	
Movimentação	Equipamentos e dispositivos	Monovias	15		(Obs 2)
			16		

Obs. 1: a Mudança 10, embora se refira às centrais de utilidades, gerou predominantemente alternativas de tubulações, portanto foi usada como subsídio juntamente com as mudanças 11 e 12.

Obs. 2: as Mudanças 15 e 16, foram analisadas como monovias (transportadores aéreos) no item 4.1.2 como soluções subseqüentes uma à outra, nesta análise serviram de subsídio juntamente com a mudança 7, para a análise de alternativas construtivas de fixação de equipamentos industriais.

4.2.1 Alternativas de fechamentos para o edifício industrial

Na análise conjunta das mudanças 1, 4 e 6, é dada ênfase às alternativas construtivas relativas a modificações no edifício industrial relacionadas aos elementos de fechamento (vedações laterais) do edifício. Como principais alternativas de fechamento para o edifício industrial, temos:

- a. Fechamento em paredes em alvenaria de tijolos (Quadro 4.4 e Figura 4.9)
- b. Fechamento com painéis metálicos termo acústicos (Quadro 4.5 e Figura 4.10)
- c. Fechamento com paredes em alvenaria de blocos e painéis termo acústicos (Quadro 4.6 e Figura 4.11)

Essas alternativas configuram a necessidade do edifício industrial em oferecer características de: conforto térmico e acústico, vedação, iluminação e ventilação natural, respeitando aos requisitos das normas ambientais nacionais e internacionais no que tange aos materiais aplicados na produção das paredes ou painéis de fechamento e nos processos de execução e manutenção dos mesmos.

As alternativas são analisadas qualitativamente do ponto de vista dos conceitos de flexibilidade da bibliografia, das quais em seus quadros respectivos são elencadas as principais vantagens e desvantagens, ilustradas pelas figuras de cada alternativa. Como resultado dessa análise, verificamos que a alternativa b, de fechamento em painéis compostos de telhas metálicas zipadas termo acústicas, à semelhança das aplicadas nas coberturas, é a que apresenta qualitativamente o maior número de vantagens e o menor número de desvantagens significativas para a flexibilidade do edifício industrial, relativamente às alternativas apresentadas, evidenciando a maior flexibilidade desta alternativa.

QUADRO 4.4 - Utilização de fechamento com alvenaria de tijolos

VANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Conseqüência	DESVANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Conseqüência
Material comercial	Facilidade de aquisição e reposição	Peso próprio	Reforço da estrutura
		Assentamento artesanal	Difícil controle de qualidade
		Utilização de andaimes	Risco de queda; necessidade de desocupação de espaço
		Tempo de execução	Retardamento do início de instalação de equipamentos
		Acumulo de poeira corrosiva	Oxidação das estruturas metálicas
		Material úmido	Aguardar a secagem para executar atividades subseqüentes
		Resíduos	Disposição final onerosa
		Reparos	Formação de resíduos



FIGURA 4.9 – Utilização de fechamento com alvenaria de tijolos

QUADRO 4.5- Utilização de fechamentos com painéis metálicos termo-acústicos

VANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Consequência	DESVANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Consequência
Material comercial	Facilidade de aquisição e reposição	Peso próprio	Necessidade de dimensionamento da estrutura
Estrutura de apoio em aço	Simplicidade de execução; preservação de florestas		
Dimensões	Painéis somente com emendas estanques longitudinais		
Vedação	Não há formação de névoa durante as intempéries, nem entrada de poeiras; ausência de risco de vazamento		
Resistência a esforços	Suporta esforços de impacto, torção e flexão	Investimento inicial	Desembolso relativo maior
Fabricação, instalação e manutenção mecanizadas	Redução da exposição a risco de queda das equipes		
Custo operacional	Desembolso relativo menor durante a vida útil		
Vida útil	Aço = 10 anos Alumínio= 20 anos		



FIGURA 4.10– Utilização de fechamento com painéis metálicos termo acústicos

QUADRO 4.6- Utilização de fechamento em alvenaria de blocos e painéis metálicos termo acústicos

VANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Consequência	DESVANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Consequência
Material comercial	Facilidade de aquisição e reposição	Peso próprio	Necessidade de dimensionamento da estrutura
Estrutura de apoio em aço	Simplicidade de execução; preservação de florestas	Investimento inicial	Desembolso relativo maior
Dimensões	Telhas somente com emendas estanques longitudinais	Peso próprio	Reforço da estrutura
Vedação	Não há formação de névoa durante as intempéries, nem entrada de poeiras; ausência de risco de vazamento	Assentamento artesanal	Difícil controle de qualidade
Resistência a esforços	Suporta impacto, torção e flexão	Utilização de andaimes	Risco de queda; necessidade de desocupação de espaço
Fabricação, instalação e manutenção mecanizadas	Redução da exposição a risco de queda das equipes	Tempo de execução	Retardamento do início de instalação de equipamentos
Custo operacional	Desembolso relativo menor durante a vida útil	Acumulo de poeira corrosiva	Oxidação das estruturas metálicas
Vida útil	Aço = 10 anos Alumínio= 20 anos	Material úmido	Aguardar a secagem para executar atividades subsequentes
		Resíduos	Disposição final onerosa
		Reparos	Formação de resíduos



FIGURA 4.11 – Utilização de fechamento em alvenaria de blocos e painéis metálicos termo acústicos

Complementarmente, no Quadro 4.7 são apresentados os custos relativos incidentes no edifício industrial, observados no histórico da amostra das dezesseis mudanças, de cada uma das alternativas construtivas de fechamento, atualizados para maio de 2008.

QUADRO 4.7 – Custo de modificação do edifício industrial por alternativa de fechamento

ALTERNATIVA DE FECHAMENTO LATERAL	CUSTO DE MODIFICAÇÃO R\$/m²
Alvenaria de tijolos	200
Painéis metálicos termo-acústicos	150
Alvenaria de blocos e painéis metálicos termo-acústicos	160

Da análise de flexibilidade e do histórico dos custos das alternativas, verifica-se, que no que tange a alternativa construtiva de fechamento do edifício industrial a alternativa construtiva de painéis metálicos termo acústicos, além de mais flexível é também a alternativa de menor custo.

4.2.2 Alternativas de coberturas para o edifício industrial

Na análise conjunta das mudanças 2, 4 e 6 , será dado ênfase às suas respectivas modificações no edifício industrial relacionadas à cobertura do edifício. Como principais alternativas construtivas, temos:

- a. Cobertura em cimento-amianto (Quadro 4.8 e Figura 4.12)
- b. Cobertura em telhas metálicas zipadas termo acústicas (Quadro 4.9 e Figura 4.13)

Essas alternativas configuram a necessidade do edifício industrial em oferecer características de: conforto térmico e acústico, vedação e iluminação, respeitando aos requisitos das normas ambientais nacionais e internacionais no que tange aos materiais aplicados na produção das telhas das coberturas e nos processos de instalação e manutenção das mesmas.

As alternativas são analisadas qualitativamente do ponto de vista dos conceitos de flexibilidade da bibliografia, das quais em seus quadros respectivos são elencadas as principais vantagens e desvantagens, ilustradas pelas figuras de cada alternativa. Como resultado dessa análise, verificamos que a alternativa de cobertura em telhas metálicas zipadas termo acústicas é a que apresenta qualitativamente o maior número de vantagens e o menor número de desvantagens significativas para a flexibilidade do edifício industrial, relativamente entre as alternativas, evidenciando a maior flexibilidade desta alternativa de material das telhas e processos da instalação e manutenção.

QUADRO 4.8- Utilização de coberturas com telhas em cimento-amianto

VANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Consequência	DESVANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Consequência
Material comercial	Facilidade de aquisição e reposição	Peso próprio	Necessidade de dimensionamento da estrutura
Investimento inicial	Desembolso relativo menor	Absorção de umidade	Variação no peso próprio
Estrutura de apoio em aço	Simplicidade de execução; preservação de florestas	Vedação restrita	Risco de vazamento nos pontos de fixação
Dimensões	Menor número de telhas por cobertura	Fragilidade a esforços	Quebra ao pisar; quebra por impacto; quebra por torção
		Instalação e manutenção perigosa	Risco de queda das equipes de manutenção por colapso das telhas
		Vida útil	5 anos

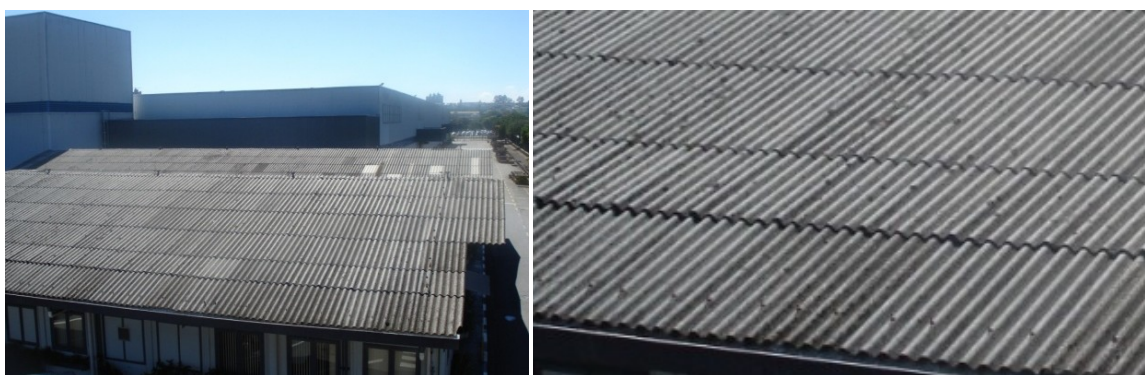


FIGURA 4.12 – Cobertura com telhas de cimento-amianto

QUADRO 4.9 - Utilização de coberturas com telhas metálicas zipadas termo acústicas

VANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Consequência	DESVANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Consequência
Material comercial	Facilidade de aquisição e reposição	Peso próprio	Necessidade de dimensionamento da estrutura
Estrutura de apoio em aço	Simplicidade de execução; preservação de florestas		
Dimensões	Telhas somente com emendas estanques longitudinais		
Vedação	Não há formação de névoa durante as intempéries, nem entrada de poeiras; ausência de risco de vazamento		
Resistência a esforços	Suporta impacto, torção e flexão	Investimento inicial	Desembolso relativo maior
Fabricação, instalação e manutenção mecanizadas	Redução da exposição a risco de queda das equipes		
Custo operacional	Desembolso relativo menor durante a vida útil		
Vida útil	Aço = 10 anos Alumínio= 20 anos		

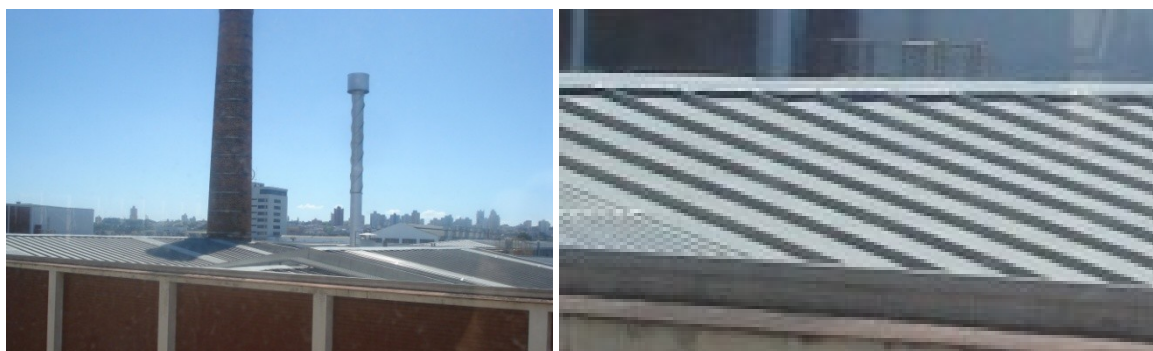


FIGURA 4.13 - Cobertura com telhas metálicas termo acústicas

Complementarmente, no Quadro 4.10 são apresentados os custos relativos incidentes no edifício industrial, de cada uma das alternativas de cobertura, observados no histórico da amostra das dezesseis mudanças, atualizados para maio de 2008.

QUADRO 4.10 – Custo de modificação do edifício industrial por alternativa de cobertura

ALTERNATIVA DE TELHAS PARA COBERTURA	CUSTO DE MODIFICAÇÃO R\$/m ²
Telhas em cimento-amianto	450
Telhas metálicas zipadas termo acústicas em aço	300

Da análise de flexibilidade e do histórico dos custos das alternativas, verifica-se, no que tange à alternativa construtiva de cobertura, que a alternativa com telhas metálicas zipadas termo acústicas em aço além de mais flexível é também a de menor custo.

4.2.3 Alternativas de lajes e pisos para equipamentos industriais

Na análise das mudanças 3, 4, 5 e 6 é dada ênfase às modificações no edifício industrial relacionadas à conformação e adequação de pisos e lajes do edifício industrial para a instalação de equipamentos industriais de transporte de peças. Como principais alternativas construtivas, temos:

- Utilização de vãos abertos já existentes nos pisos e lajes (Quadro 4.11 e Figura 4.14)
- Reposicionamento de vãos abertos nas lajes e pisos (Quadro 4.12)
- Utilização de plataformas metálicas (Quadro 4.13 e Figura 4.15)

Essas alternativas configuram a necessidade do edifício industrial em oferecer adequação dos pisos e lajes para a instalação de equipamentos de transporte de peças que ofereçam facilidade de execução, modificação de *layout*, operação, manutenção e custo de instalação, oferecendo adequação e reposicionamento rápido de *layout*. As alternativas são analisadas qualitativamente do ponto de vista dos conceitos de flexibilidade da bibliografia, das quais em seus quadros respectivos são elencadas as principais vantagens e desvantagens, ilustradas pelas figuras de cada alternativa. Como resultado dessa análise, verificamos que a alternativa c, de plataformas metálicas, modulares sobrepostas às lajes é a que apresenta qualitativamente o maior número de vantagens e o menor número de desvantagens

significativas para a flexibilidade do edifício industrial, relativamente às alternativas apresentadas, evidenciando a maior flexibilidade desta alternativa.

QUADRO 4.11- Utilização de vão abertos nas lajes

VANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Conseqüência	DESVANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Conseqüência
Acondicionamento de partes inferiores salientes dos equipamentos transportadores (p.e. motores, retorno de esteiras, etc)	Facilidade de nivelamento da face superior do equipamento pela menor altura	Elemento moldado na estrutura do edifício	Qualquer modificação pode interferir no conceito estrutural inicial do edifício
Transposição de andares sucessivos	Facilidade de instalação de elevadores e monta-cargas	Posição das vigas, pilares e lajes	Limitação de dimensões dos vãos
		Modificações onerosas	Quaisquer modificações podem incorrer em demolições e reconstruções
		Tempo de execução	Interferência na manufatura
		<i>Layout</i> dependente da estrutura do edifício	Quaisquer modificações de <i>layout</i> incorrem em modificações no edifício industrial



FIGURA 4.14 – Utilização de vão abertos nas lajes

QUADRO 4.12- Utilização de reposicionamento dos vãos das lajes

VANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Conseqüência	DESVANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Conseqüência
(Não foram identificadas)	(Não foram identificadas)	Demolições e reconstrução de elementos estruturais	Interferência ou obstrução das atividades da manufatura
		Descaracterização da estrutura inicial do edifício	Pode inviabilizar o aproveitamento econômico do edifício
		Desenvolvimento de anomalias na estrutura em razão das demolições sucessivas	Redução da capacidade de carga dos elementos estruturais

QUADRO 4.13- Utilização de plataformas metálicas (pisos elevados)

VANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Consequência	DESVANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Consequência
Independência com relação à estrutura do edifício	Pouca interferência na estrutura do edifício, somente como elemento re-distribuidor de cargas atuantes	Configurar-se uma estrutura auxiliar	Investimento inicial adicional
Estrutura auxiliar modular	Facilidade de reposicionamento e acréscimo de módulos		
Estrutura leve	Facilidade de substituição por ser simplesmente apoiada sobre a superfície das lajes		
Habitáculo para redes de utilidades	Facilidade de instalação, fixação, remoção e manutenção das redes		
Absorção de impacto e esforços	Redistribuição dos esforços sobre a estrutura do edifício		
Tempo de montagem e desmontagem	Redução do tempo gasto em mudanças		
Limpeza	Mínimo de interferência e geração de resíduos nas mudanças de <i>layout</i>		
Precisão	Facilidade de nivelamento do conjunto dos módulos		
Inserção de máquinas	Por simples remoção ou reposicionamento de um ou mais módulos		

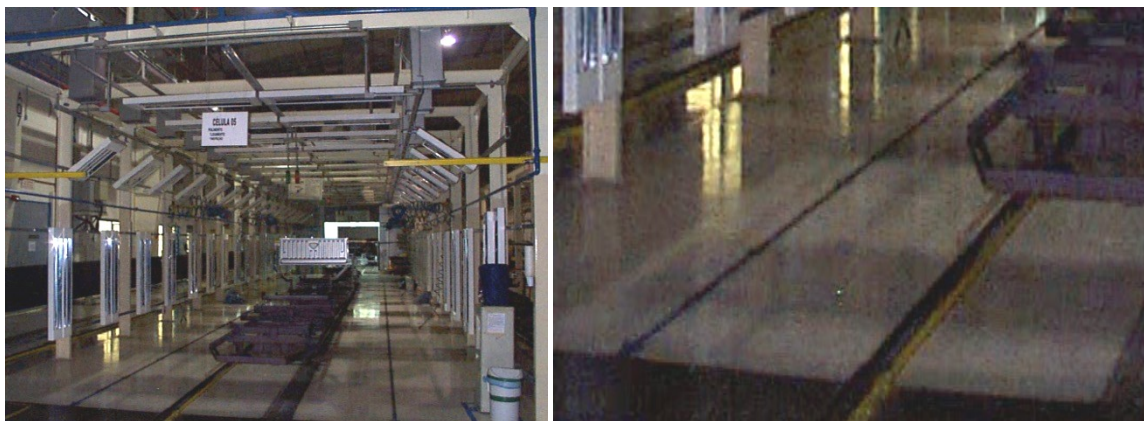


FIGURA 4.15 – Utilização de plataformas metálicas

Complementarmente, no Quadro 4.14 são apresentados os custos relativos incidentes no edifício industrial, observados no histórico da amostra das dezesseis mudanças, de cada uma das alternativas de conformação de pisos e lajes, atualizados para maio de 2008.

QUADRO 4.14– Custo de modificação do edifício industrial por alternativa de piso

ALTERNATIVA DE LAJES E PISOS INTERNOS	CUSTO DE MODIFICAÇÃO R\$/m²
Vãos nas lajes	1100
Reposicionamento de vãos nas lajes	1500
Plataformas metálicas	900

Da análise de flexibilidade e do histórico dos custos das alternativas, verifica-se naquilo que tange às alternativas construtivas de conformação de pisos e lajes internos ao edifício industrial, que a alternativa de plataformas metálicas, além de mais flexível é também a alternativa de menor custo.

4.2.4 Alternativas para fixação de equipamentos industriais

A análise conjunta das mudanças 7, 15 e 16 e suas respectivas modificações no edifício industrial estão relacionadas à fixação de equipamentos na estrutura do edifício. Como principais alternativas construtivas, temos:

- a. Fixação na estrutura da cobertura (Quadro 4.15 e Figura 4.16)
- b. Fixação em barras de carga (Quadro 4.16 e Figura 4.17)
- c. Fixação em pórticos (Quadro 4.17 e Figura 4.18)

Essas alternativas configuram a necessidade do edifício industrial em oferecer características para sustentar equipamentos: fixados na estrutura da cobertura, que transfere os esforços para a estrutura principal do edifício; fixados em estruturas auxiliares como barras de carga, que são dimensionadas independentemente da cobertura e que transferem os esforços diretamente aos pilares da estrutura do edifício; fixados em pórticos independentes da estrutura do edifício. As alternativas são analisadas qualitativamente do ponto de vista dos conceitos de flexibilidade da bibliografia, das quais em seus quadros respectivos são elencadas as principais vantagens e desvantagens, ilustradas pelas figuras de cada alternativa. Como resultado dessa análise, verificamos que a alternativa de pórticos é a que apresenta qualitativamente o maior número de vantagens e o menor número de

desvantagens significativas para a flexibilidade do edifício industrial, relativamente às outras alternativas, evidenciando a maior flexibilidade da alternativa de fixação em pórticos.

QUADRO 4.15 - Estrutura da cobertura como elemento de fixação de equipamentos industriais

VANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Conseqüência	DESVANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Conseqüência
Fixação do equipamento diretamente na estrutura da cobertura	Interferência limitada ao espaço de trabalho do equipamento	Sobrecarga das estruturas	Maiores dimensões dos perfis da estrutura da cobertura
			Maiores dimensões dos pilares da estrutura do edifício
			Maiores dimensões das fundações da estrutura do edifício
			Obsolescência por aumento de sobrecarga
		Sobrecarga admissível limitada	Redimensionamento geral da estrutura para sobrecargas maiores da admissível e para esforços dinâmicos
		Mudança de uso limitada	Possível sub-aproveitamento da estrutura
		Redimensionamento geral	Impacto em toda a estrutura da cobertura
			Impacto na estrutura do edifício
		Especificidade de uso do edifício	Limitação de <i>layout</i> , quanto a mudança interna e externa



FIGURA 4.16 – Estrutura da cobertura como elemento de fixação de equipamentos

QUADRO 4.16 - Barras de carga como elemento de fixação de equipamentos industriais

VANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Consequência	DESVANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Consequência
Fixação do equipamento nas barras de carga apoiadas na estrutura do edifício	Interferência limitada à região da modulação dos pilares da estrutura em que está fixado o equipamento	Sobrecarga das estruturas	Maiores dimensões dos pilares da estrutura do edifício Maiores dimensões das fundações da estrutura do edifício
possibilidade de transferência das barras pela modulação dos pilares do edifício	Possibilidade de mudanças internas de <i>layout</i>	Sobrecarga admissível limitada	Redimensionamento dos pilares da estrutura para sobre-cargas maiores da admissível e para esforços dinâmicos
		Mudança de uso limitada	Possível sub-aproveitamento da estrutura
		Redimensionamento parcial	Impacto na estrutura do edifício
		Especificidade de uso do edifício	Limitação de <i>layout</i> , quanto a mudança externa

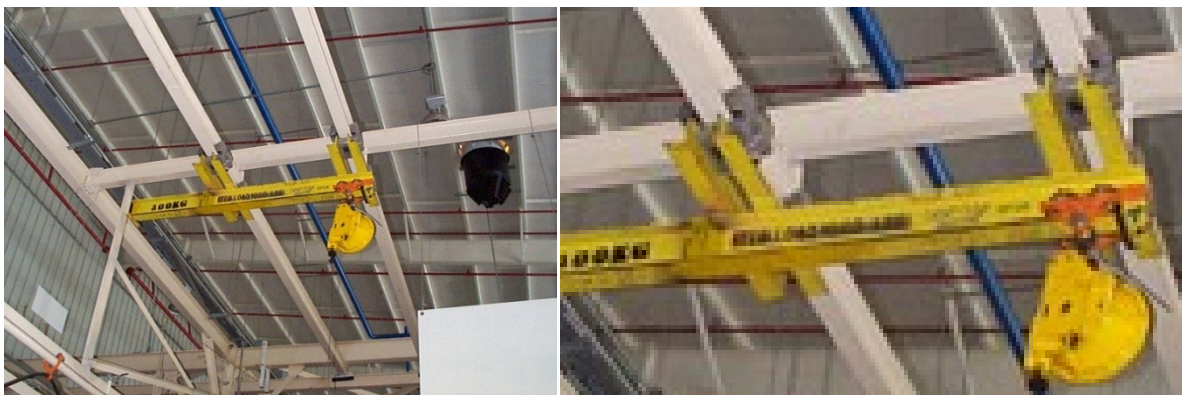


FIGURA 4.17 – Barras de carga como elemento de fixação de equipamentos



FIGURA 4.18 – Pórticos como elemento de fixação de equipamentos

QUADRO 4.17 - Pórticos como elemento de fixação de equipamentos industriais

VANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Consequência	DESVANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Consequência
Fixação do equipamento nos pórticos de carga	Interferência limitada à área de trabalho do equipamento	Execução de fundações exclusivas	Consumo de concreto, formas, etc
Independente da estrutura do edifício	Não interfere na estrutura do edifício		
Possibilidade de reposicionamento dos pórticos	Possibilidade de maior sobrecarga		
Modularização	Possibilidade de variação de <i>layout</i> com reposicionamento dos módulos		
Padronização	Possibilidade de diversas modularizações com pórticos de mesmas dimensões		
Reaproveitamento dos pórticos	Redução de investimentos nas mudanças internas e externas		
Fundações independentes das fundações do edifício	Investimento para sobrecarga somente nas fundações dos pórticos		

Complementarmente, no Quadro 4.18 são apresentados os custos relativos incidentes no edifício industrial, de cada uma das alternativas de fixação, observados no histórico da amostra das dezesseis mudanças, atualizados para maio de 2008.

QUADRO 4.18– Custo de modificação do edifício industrial por alternativa de fixação

ALTERNATIVA PARA FIXAÇÃO DE EQUIPAMENTOS	CUSTO DE MODIFICAÇÃO R\$ / m2
ESTRUTURA DA COBERTURA	1970
BARRAS DE CARGA	320
PÓRTICOS	280

Da análise de flexibilidade e do histórico dos custos das alternativas, verifica-se, no que tange às alternativas construtivas de fixação de equipamentos, que a alternativa que utiliza pórticos além de mais flexível é também a de menor custo.

4.2.5 Alternativas para instalação de centrais de utilidades

Na análise das mudanças de números 8, 9 e 10, identificam-se alternativas que configuram a necessidade de adequação dos sub-sistemas de utilidades do edifício industrial para a instalação de centrais de fornecimento de insumos industriais (energia, ar comprimido, água potável, água desmineralizada, ar condicionado, óleo térmico, etc.) que oferecem facilidade de execução, ampliação, operação, manutenção e custo, em razão da variação da demanda de insumos. Como principais alternativas, temos:

- a. Utilização de central geral de utilidades, com máquinas de grande porte (Quadro 4.19 e Figura 4.19)
- b. Utilização de central geral de utilidades, com grupos de máquinas de pequeno porte (Quadro 4.20 e Figura 4.20)
- c. Utilização de central dedicada modular de utilidades (Quadro 4.21 e Figura 4.21)

As alternativas são analisadas qualitativamente do ponto de vista dos conceitos de flexibilidade da bibliografia, das quais em seus quadros respectivos são elencadas as principais vantagens e desvantagens, ilustradas pelas figuras de cada alternativa. Como resultado dessa análise, verificamos que a alternativa c, que utiliza centrais dedicadas e modulares apresenta vantagens de instalação, operação, manutenção em relação às alternativas que utilizam centrais gerais, o que nos conduz qualitativamente a entendê-la como a alternativa de fornecimento de insumos ao edifício industrial mais flexível entre as alternativas identificadas na amostra.

QUADRO 4.19- Utilização de central geral de utilidades, com máquinas de grande porte

VANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Consequência	DESVANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Consequência
(Não foram identificadas)	(Não foram identificadas)	Tubulações de grande diâmetro	Estruturas especiais de sustentação, adicional de custo
		Tubulações em percursos extensos	Perdas de carga, vazamentos, dispositivos de controle e manobra
		Sistema único	Paralisação simultânea do fornecimento aos diversos clientes da manufatura
		Inércia do sistema	Tempo de retomada
		Interdependência dos processos	Ociosidade do sistema
		Máquinas de grande porte	Ociosidade do sistema
		Volume de insumos	Retenção de insumos nas tubulações



FIGURA 4.19 – Utilização de central geral de utilidades com máquinas de grande porte (caldeira)

QUADRO 4.20 - Utilização de central geral de utilidades, com grupos de máquinas de pequeno porte

VANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Consequência	DESVANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Consequência
Máquinas de pequeno porte	Otimização do sistema	Tubulações de grande diâmetro	Estruturas especiais de sustentação, adicional de custo
		Tubulações em percursos extensos	Perdas de carga, vazamentos, dispositivos de controle e manobra
		Sistema único	Paralisação simultânea do fornecimento aos diversos clientes da manufatura
		Inércia do sistema	Tempo de retomada
		Inter-dependência dos processos	Ociosidade do sistema
		Volume de insumos	Retenção de insumos nas tubulações



FIGURA 4.20 – Utilização de central geral de utilidades com grupos de máquinas de pequeno porte

QUADRO 4.21 - Utilização de central dedicada modular de utilidades

VANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Consequência	DESVANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Consequência
Tubulações de distribuição de pequeno diâmetro	Estruturas de sustentação simples	(Não foram identificadas)	(Não foram identificadas)
Tubulações com percursos pequenos	Baixa perda de carga, menos vazamentos, dispositivos de controle e manobra menores		
Sistema dedicado	Atende somente ao processo		
Processo exclusivo	Otimização do sistema		
Independência dos processos	Otimização do sistema		
Máquinas pequenas modulares	Baixo custo de reposição e intercambiabilidade		
Volume de insumos	Baixa retenção de insumos nas tubulações		
Inércia do sistema	Tempo de retomada		



FIGURA 4.21 – Utilização de central dedicada de utilidades (abastecimento de GLP)

Complementarmente, no Quadro 4.22 são apresentados os custos relativos incidentes no edifício industrial, observados no histórico da amostra das dezesseis mudanças, de cada uma das alternativas de fornecimento de utilidades, atualizados para maio de 2008. Como referência de custos, é apresentado o custo de modificação para o sistema de fornecimento de água desmineralizada.

QUADRO 4.22– Custo do edifício industrial por alternativa de fornecimento de insumos

ALTERNATIVA DE FORNECIMENTO DE UTILIDADES	CUSTO DE MODIFICAÇÃO R\$/unidade
Central geral c/ máquinas de grande porte	1.700.000
Central geral c/ máquinas de pequeno porte	1.400.000
Central modular dedicada	1.000.000

Da análise de flexibilidade e do histórico dos custos das alternativas, verifica-se naquilo que tange ao fornecimento de utilidades de um modo geral e especificamente para o sistema de água desmineralizada ao edifício industrial, que a alternativa de central modular dedicada, além de mais flexível é também a alternativa de menor custo.

4.2.6 Alternativas de disposição de tubulações para distribuição de insumos

Na análise das mudanças de números 10, 11 e 12, identificam-se modificações que configuram a necessidade de adequação dos subsistemas de utilidades do edifício industrial

para a distribuição de insumos industriais por tubulações (ar comprimido, água potável, água desmineralizada, ar condicionado, óleo térmico, etc.) que ofereçam facilidade de execução, ampliação, operação, manutenção e custo. Como principais alternativas construtivas, temos:

- a. Utilização de tubulações enterradas no solo (Quadro 4.23 e Figura 4.22)
- b. Utilização de tubulações em galerias subterrâneas (Quadro 4.24 e Figura 4.23)
- c. Utilização de tubulações em *pipe racks* (Quadro 4.25 e Figura 4.24)

As alternativas são analisadas qualitativamente do ponto de vista dos conceitos de flexibilidade da bibliografia, das quais em seus quadros respectivos são elencadas as principais vantagens e desvantagens, ilustradas pelas figuras de cada alternativa. Como resultado dessa análise, verificamos que a alternativa c, de tubulações fixadas em estruturas metálicas aéreas, destinadas a passagem de tubulações (*pipe rack*) apresenta vantagens de instalação, operação, manutenção em relação às outras duas alternativas, o que nos conduz qualitativamente a entendê-la como a alternativa mais flexível de distribuição de insumos ao edifício industrial, entre as alternativas identificadas na amostra.

QUADRO 4.23 - Utilização de tubulações de distribuição enterradas no solo

VANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Consequência	DESVANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Consequência
Liberação de espaço acima da superfície do piso	Tubulação embutida	Dificuldade de operação e manutenção	Vazamentos, contaminação do solo e dos insumos,
		Contato direto com o solo	Corrosão externa da tubulação
		Modificações onerosas	Quaisquer modificações são necessárias escavações
		Tempo de execução	Interferência na manufatura
		Interferência em outras escavações	Risco de rompimento
		Interface com cadastros de outras redes	Atualização freqüente



FIGURA 4.22 – Utilização de tubulações de distribuição enterradas no solo

QUADRO 4.24 - Utilização de tubulação de distribuição dentro galerias

VANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Conseqüência	DESVANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Conseqüência
Liberação de espaço acima da superfície do piso	Tubulação confinada	Estruturas enterradas	Necessidade de escavação,
		Risco de inundação	Necessidade de drenagem
		Estrutura monolítica da galeria	Dificuldade de modificações
Habitáculo exclusivo para redes de utilidades	Facilidade de instalação, fixação, remoção, operação e manutenção das redes	Pouca dificuldade de operação e manutenção da galeria	Controle visual de vazamentos por trechos, contaminação do solo e dos insumos controlada
		Inspecção visual	Dependente da remoção de tampas

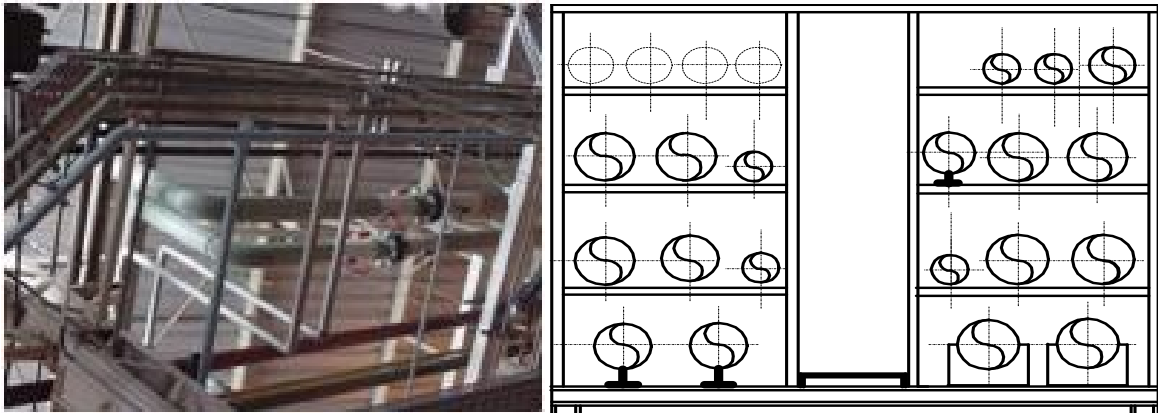


FIGURA 4.23 – Utilização de tubulação de distribuição dentro de galerias

QUADRO 4.25- Utilização de tubulações de distribuição em *pipe rack*

VANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Consequência	DESVANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Consequência
Independência com relação à estrutura do edifício	Pouca interferência na estrutura do edifício,	Ocupação de espaço acima da superfície do piso	Necessidade de atender aos gabaritos de passagem e mudanças de <i>layout</i>
Estrutura auxiliar modular	Facilidade de reposicionamento e acréscimo de módulos		
Estrutura auto portante	Facilidade de acesso para manutenção		
Habitáculo exclusivo para redes de utilidades	Facilidade de instalação, fixação, remoção, operação e manutenção		
Inspeção visual	Facilidade de os pontos de anomalias		
Conservação das tubulações	Menor incidência de corrosão externa		
Modificações limitadas a estrutura do <i>pipe rack</i> e as redes	Pouca interferência na manufatura e no edifício		



FIGURA 4.24 – Utilização de tubulação de distribuição primária sobre *pipe rack*

Complementarmente, no Quadro 4.26 são apresentados os custos relativos incidentes no edifício industrial, observados no histórico da amostra das dezesseis mudanças, de cada uma das alternativas de distribuição de utilidades, atualizados para maio de 2008. Como referência de custos, é apresentado o custo de modificação do sistema de distribuição de ar comprimido.

QUADRO 4.26 - Custo de modificação do edifício industrial por alternativa de disposição das tubulações

ALTERNATIVA DE DISPOSIÇÃO DE TUBULAÇÕES DE DISTRIBUIÇÃO	CUSTO DE MODIFICAÇÃO R\$/m
Enterradas no solo	700
Confinadas em galerias	400
Aparentes em <i>pipe racks</i>	320

Da análise de flexibilidade e do histórico dos custos das alternativas, verifica-se naquilo que tange às alternativas de disposição das tubulações de distribuição de utilidades, que a alternativa de leito em *pipe rack*, para tubulações, além de mais flexível é também a alternativa de menor custo.

Como se viu durante a análise qualitativa das vantagens e das desvantagens do ponto de vista da flexibilidade das alternativas construtivas da amostra de dezesseis mudanças, além das vantagens construtivas para o edifício industrial, a aplicação dos conceitos *lean* conduzem a uma simplificação e conseqüentemente a uma redução no custo das modificações pela adoção de alternativas mais flexíveis.

4.2.7 Alternativas de distribuição de energia elétrica

Na análise das mudanças de números 13 e 14, identificam-se modificações que configuram a necessidade de adequação dos subsistemas de utilidades do edifício industrial para a distribuição de energia elétrica que ofereçam facilidade de execução, ampliação, operação, manutenção e custo. Como principais alternativas construtivas, temos:

- a. Utilização de circuitos constituídos por fios e cabos (Quadro 4.27)
- b. Utilização de circuitos constituídos por barramentos (Quadro 4.28)
- c. Utilização de circuitos constituídos por barramentos blindados (Quadro 4.29)

As alternativas foram analisadas qualitativamente do ponto de vista dos conceitos de flexibilidade da bibliografia, das quais em seus quadros respectivos são elencadas as principais vantagens e desvantagens. Como resultado dessa análise, verificamos que a alternativa c, de barramentos blindados destinados à conexão segura de distribuição de energia para equipamentos e máquinas apresenta vantagens de instalação, operação, manutenção em relação às outras duas alternativas, o que nos conduz qualitativamente a entendê-la como a alternativa mais flexível de distribuição de energia ao edifício industrial, entre as alternativas identificadas na amostra.

QUADRO 4.27- Utilização de circuitos constituídos por fios e cabos

VANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Conseqüência	DESVANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Conseqüência
Circuitos curtos	Interligação barramento/máquinas	Aquecimento	Perda de carga
		Circuitos longos	Individuais por máquina
		Modificações onerosas	Quaisquer modificações são necessárias trocas dos circuitos inteiros
		Tempo de execução	Interferência na manufatura
		Identificação difícil	Diversos circuitos na mesma bandeja
		Tubulação e bandejamento	Interferência na manufatura
		Resistência mecânica	Mal contato

QUADRO 4.28 - Utilização de circuitos constituídos por barramentos

VANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Conseqüência	DESVANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Conseqüência
Não utiliza bandejas ou eletrodutos	Ocupa menos espaço	Isolamento parcial	Faces vivas aparentes
Pode ser plugado por qualquer ponto	Não necessita de emendas mecânicas		
Pode ser reutilizado	Não necessita reciclagem		
Auto- portante	Pode ser aplicado na estrutura utilizando isoladores		

QUADRO 4.29- Utilização de circuitos constituídos por barramentos blindados

VANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Conseqüência	DESVANTAGENS do ponto de vista da flexibilidade	Conseqüência
Não utiliza bandejas ou eletrodutos	Ocupa menos espaço	(Não foram identificadas)	(Não foram identificadas)
Pode ser plugado por qualquer ponto	Não necessita de emendas mecânicas		
Pode ser reutilizado	Não necessita reciclagem		
Auto-portante	Pode ser aplicado na estrutura utilizando isoladores		
Blindagem	Isolamento das faces vivas		

Complementarmente, no Quadro 4.30 são apresentados os custos relativos incidentes no edifício industrial, observados no histórico da amostra das dezesseis mudanças, de cada uma das alternativas de distribuição de utilidades, atualizados para maio de 2008. Como referência de custos, é apresentado o custo de modificação do sistema de distribuição de energia elétrica para uma unidade consumidora, 2000 A, com distância de 50 metros do ponto ao quadro geral de força.

QUADRO 4.30 - Custo de modificação do edifício industrial por alternativa de distribuição de energia

ALTERNATIVA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	CUSTO DE MODIFICAÇÃO R\$/UNIDADE CONSUMIDORA
Circuitos constituídos por fios e cabos	25.000
Circuitos constituídos por barramentos	4.000
Circuitos constituídos por barramentos blindados	3.600

Da análise de flexibilidade e do histórico dos custos das alternativas, verifica-se que a alternativa de barramentos blindados é aquela que apresenta a maior flexibilidade entre as soluções construtivas e também a alternativa de menor custo.

Como se viu durante a análise qualitativa das vantagens e das desvantagens do ponto de vista da flexibilidade das alternativas construtivas da amostra de dezesseis mudanças, além das vantagens construtivas para o edifício industrial, a aplicação dos conceitos *lean* conduzem a uma simplificação e conseqüentemente a uma redução no custo das modificações pela adoção de alternativas mais flexíveis.

4.4 Análise e organização de lista de alternativas construtivas menos flexíveis *versus* alternativas construtivas mais flexíveis

No decorrer da identificação das alternativas de infra-estrutura na amostra de dezesseis mudanças da manufatura, além das soluções aplicadas, existe um universo de outras potenciais alternativas construtivas mais flexíveis de infra-estrutura, que ainda não foram aplicadas. Como incentivo a reflexão organizou-se o Quadro 4.31, considerando-se as vantagens e desvantagens do ponto de vista da flexibilidade, para as alternativas descritas anteriormente (alternativas em fundo cinza na tabela), aliadas a algumas alternativas mais flexíveis que fazem parte de estudos mais recentes da empresa do estudo de caso, visando futuras aplicações.

QUADRO 4.31– Coletânea de soluções identificadas no estudo de caso e soluções mais flexíveis

SUB-SISTEMA	ELEMENTO	SUB-ELEMENTO	 ALTERNATIVA CONSTRUTIVA 			
Edificação	Fechamentos	Alvenaria e painéis	Alvenaria	Alvenaria aparente	Alvenaria aparente + Painéis metálicos	Painéis metálicos termo acústicos
	Cobertura	Telhas	Fibro- cimento	Metálicas contínuas sobrepostas	Metálicas contínuas zipadas	Metálicas contínuas zipadas termo acústicas
	Estrutura	Pisos	Lajes moldadas <i>in loco</i>	Mezaninos metálicos	Plataformas modulares metálicas	Painéis metálicos modulares removíveis
Utilidades	Estruturas auxiliares	Suportes	Treliças das coberturas	Barras de carga	Linhas de pórticos	Linhas de pórticos modulares
	Tubulações	Hidráulica	Enterradas	Galerias para tubulações	<i>Pipe racks</i>	<i>Pipe racks</i> modulares
	Máquinas e equipamentos	Centrais de utilidades	Geral	Geral modular	Dedicada	Dedicada com gerenciamento remoto
	Condutores	Energia elétrica	Fios e cabos	Barramentos	Barramentos blindados	Barramentos blindados com gerenciamento remoto
Movimentação	Equipamentos e dispositivos	Monovias	Por correntes tracionadoras (<i>Power and free</i>) com carros fixos	Por correntes tracionadoras (<i>Power and free</i>) com carros articulados	Com carros motorizados (<i>EOM</i>) com dispositivos de elevação	Com carros motorizados (<i>EOM</i>) com dispositivos de elevação, programáveis

A disposição das alternativas nesse quadro teve como base os conceitos de flexibilidade do edifício industrial. Nas quatro colunas relativas às alternativas construtivas, partindo da esquerda para a direita, são apresentadas as alternativas da menos flexível para a mais flexível relativamente aos elementos construtivos analisados. Esse quadro pode ser enormemente ampliado, é desejo que sirva de incentivo e inspiração para a procura da melhoria contínua do edifício industrial, desenvolvendo-se cada dia mais, materiais, processos, produtos e aplicações mais flexíveis de infra-estrutura para o edifício industrial.

Essa dissertação abordou as necessidades de flexibilidade da manufatura *lean* como indutor da flexibilização concomitante do edifício industrial através de um estudo de caso. A partir da subdivisão das modificações no edifício industrial de uma amostra de dezesseis mudanças na manufatura, em seus aspectos internos, externos e de obsolescência e em seus subsistemas e elementos construtivos, foram identificadas soluções construtivas tradicionais e mais flexíveis de infra-estrutura. As soluções mais flexíveis de infra-estrutura foram assim classificadas qualitativamente, como aquelas que atendem ao conceito de manufatura *lean* com o menor número de modificações subseqüentes devido a mudanças na manufatura *lean*, e apresentam vantagens relativamente às tradicionais quanto a execução, operação, manutenção e custos financeiros.

- Pode-se destacar algumas conclusões: o estudo de caso aborda edifícios industriais concebidos e construídos há várias décadas, quando o conceito de flexibilidade da manufatura não era relevante, e por consequência não existia a preocupação de se incorporar flexibilidade ao edifício industrial, gerando soluções construtivas de baixa flexibilidade. Esta situação possivelmente é semelhante em diversos edifícios industriais implantados no Brasil nas décadas de 1950 a 1970, uma vez que as mudanças na manufatura eram muito menos freqüentes que atualmente.
- A evolução dos conceitos de manufatura, tendo o *lean* como uma das filosofias propulsoras, gera diversas demandas em termos de flexibilidade da manufatura e em decorrência de necessidades de flexibilidade do edifício industrial. No estudo de caso constatou-se, nos últimos 10 anos, 16 mudanças com custos acima de um milhão de reais, gerando um custo de modificações de R\$ 36.000.000,00.
- Os conceitos mais recentes, discutidos na literatura, apontam para uma relação biunívoca entre a flexibilidade da manufatura *lean* e a flexibilidade do edifício industrial, isto é, quanto maior a flexibilidade da manufatura, maior a necessidade de flexibilidade do edifício industrial, quanto mais flexível se torna o edifício

industrial mais flexível se torna a manufatura, estabelecendo-se uma espiral contínua de melhoria, correspondente ao princípio *lean* de procura da perfeição.

- As modificações analisadas vêm ocorrendo na empresa do estudo de caso sujeitas a uma série de restrições, nem sempre priorizando explicitamente os aspectos de flexibilidade. Pelo menos um caso observou-se a necessidade de nova modificação por motivo semelhante em espaço de tempo relativamente pequeno, considerando-se o contexto estudado.
- A análise qualitativa das vantagens e desvantagens das alternativas consideradas possibilita a organização das soluções construtivas em escalas de menor a maior flexibilidade, gerando informação útil para futuras aplicações em edifícios industriais com situações semelhantes.
- Nos casos analisados constatou-se que as soluções mais flexíveis em geral resultam também em menores custos, reforçando a viabilidade das mesmas.
- As soluções mais flexíveis identificadas no espectro do estudo de caso, apontam o potencial de visualizar e criar novas soluções e estendê-las a diferentes situações.

Devido a abrangência do tema e pela dificuldade em encontrar estudos desenvolvidos no Brasil, sugere-se para estudos futuros:

- Comparação de soluções construtivas, sob o ponto de vista da flexibilidade, entre edifícios industriais de usos diversos.
- Levantamento sistemático de soluções construtivas mais flexíveis existentes no mercado, para cada elemento do edifício industrial.
- Desenvolvimento e aplicação de soluções inovadoras mais flexíveis em edifícios industriais
- Desenvolvimento de uma ferramenta de avaliação quantitativa da flexibilidade do edifício industrial.

REFERÊNCIAS

- AL-NIJAIDI, H. R., **Flexibility in the design of buildings**, Oxford, 1985. Ph. D. Thesis. Oxford Polytechnic.
- AYLWARD, G., Toward a theory for describing and designing adaptability in the build environment, Oxford, 1970. **Transactions of The Bartlett Society**, v 1 p 129-148.
- BARAD, M. e SIPPER, D., Flexibility in manufacturing systems: definitions and Petri modeling, **International Journal of Production Research**, v 26 n 2 p 237-248, 1988.
- BUZACOTT, J. A. e MANDELBAUM, M., “Flexibility and productivity in manufacturing systems”, In: ANNUAL IIE CONFERENCE, 1985, Los Angeles, CA. **Proceedings...** p 404-413.
- CHEN, I. J. et. al., The marketing manufacturing interface e manufacturing flexibility, **Omega**, v 20 n 4 p 431- 443, 1992.
- CHENG, J. M. et. al., Manufacturing system flexibility: the capability and capacity approach, **Integrated Manufacturing Systems**, v 8 n 3 p 147-158, 1997.
- .
- CAMAROTTO, J. A. **Estudo das relações entre o projeto de edifícios industriais e a gestão da produção**, São Paulo, 1998. Dissertação de mestrado – FAU-USP
- CAMBRIDGE: International Dictionary of English, Cambridge, 1995. Cambridge University Press.
- COLWAN P., Depreciation, Obsolescence and Aging, **The Architects Journal Information Library**, p 1395-1401, 1965.
- COLWAN P., Studies in the Growth, Change, and Ageing of Buildings, Transactions of **The Barlett Society**, University College London, v 1 p 56, 1963.
- CONSTRUÇÃO: revista mensal de cotações de materiais e mão de obra da construção civil, São Paulo: n 84, Pini Editora, 01 ago. 2008.
- DAVIS, G., **Standards for overall building performance and information technology, high-technology workplaces**, New York, 1989. Pierre Goumain Editors.
- DRURY, J., Factories – Planning, Design and Modernization, **The Architectural Press**, first edition, 1986.

EVANS, J. S., Strategic flexibility for high technology man oeuvres: a conceptual framework, **Journal of Management Studies** , v 28 n 1 p 69-89, 1991.

FERNANDES, P. S. T., **Montagens Industriais: planejamento, execução e controle**, São Paulo, 1ª. Edição: Artliber Editora, 2005.

FRIGERIO, E. **Arquitetura industrial / usuário**, São Paulo, 1986. Dissertação de mestrado – FAU-USP.

FRIGERIO, E. **Designing for knowledge-based industries**, Oxford, 1994. Ph. D Thesis - Oxford Brookes University.

GARETT, S. E., “Strategy first: a case in FMS justification”, In: THE 2nd ORSA /TIMS CONFERENCE ON FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEMS 1986, Steckel, KE, **Proceedings...** Amsterdam, Elsevier Science, p 17-29, 1986.

GUPTA, Y. P.; GOYAL, S., Flexibility of manufacturing systems: concepts and measurements, **European Journal of Operational Research**, v 43 p 119-135, 1989.

HARMON, R. L. e PETERSON, L. D., **Reinventing the Factory: productivity breakthroughs in manufacturing today**, New York, The Free Press, 1990.

HILLIER, B.; LEAMAN, A., A new approach to architectural research, **Riba Journal**, December 1972, p 517-521.

HYUN, J..H. e AHN, B. M., A unifying framework for manufacturing flexibility, **Manufacturing Review**, v 5 n 4 p 251-260, 1992.

IPEADATA: banco de dados de preços de mercado, Instituto de Pesquisa em Economia Aplicada, Ministério do Planejamento, Governo do Brasil. Disponível em <<http://www.ipeadata.gov.br/temas/preços/todas>>, Acesso em: 10 de agosto de 2008.

KOSTE, L.L. “Construct measurement for dimensions of manufacturing flexibility”. In: ANNUAL MEETING OF THE DECISION SCIENCES INSTITUTE, 2002, Grand Rapids, **Proceedings...**Grand Valley State University, 2002, p 1767-1769.

LEEDY, P.D., **Practical Research, Planning and Design**, New York, MacMillan Publishing Co., 1989.

LÉXICO Lean, São Paulo, Lean Institute Brasil, 2007

LIKER, J.K. e MEIER, D., **The Toyota Way Fieldbook**, New York, McGraw-Hill Companies, Inc., 2006

LIM, S. H., Flexible manufacturing systems, **Manufacturing Review**, v 5 n 4 p 251-260, 1992

MANDENBAUM, M., **Flexibility in decision making: an exploration and unification**, Toronto, p 151, 1978. PhD Thesis, Department of Industrial Engineering, University of Toronto

MESQUITA, M. J., **Processos Construtivos Flexíveis: racionalização do produto quanto a sua construção**, São Carlos 2000. Dissertação de mestrado – EESC-USP.

MARTUCCI, R., **Projeto Tecnológico para Edificações Habitacionais: Utopia ou Desafio?**, São Paulo, p 115-312, 1990. Tese de doutorado – FAU-USP.

MONDEN, Y. **Toyota production system: an integrated approach to just-in-time**. 3rd. ed., Norcross, GA: Engineering & Management Press, 1998

MUNCE, J. F., **Industrial Architecture, an analysis of international building practice**, New York, F. W. Dodge Corporation, 1960.

OEDC, Organization for Economic Co-operation and Development, **Providing for Future change – Adaptability and flexibility**, p. 10, Paris, 1976

PICCHI, F. A., Oportunidades da aplicação do *lean thinking* na construção, **Ambiente Construído**, V.3, n. 1, p. 7-23, jan/mar 2003

PRABHAKER, P.; GOLDHAR, J. D.; LEI, D., Marketing implications of a newer manufacturing technologies, **Journal of Business & Industrial Marketing**, v 10, n 2, p. 48-58, 1995.

PROPST, R. L., **The Action Factory System: an integrated facility for electronics manufacturing**, Zeeland, MI, Herman Miller Corporation, 1981.

RAKESH, N.; SARKIS J.;CORDEIRO J.J., The strategic implications of flexibility in manufacturing systems, **International Journal of Agile Management Systems** v.2, n.3, p. 202-213, 2000

RAMESECH, R.V.; JAYAKUMAR, M.D., Measurement of manufacturing flexibility: a value based approach, **Journal of Operations Management**, v.10, n.4 p.446-469, 1991.

SETTI, A.K.; SETTI S.P., Flexibility in manufacturing: a survey, **International Journal of Flexible Manufacturing Systems**, v.2, p. 289-328, 1990.

SHINGO, S., **O Sistema Toyota de Produção: do ponto de vista da engenharia de produção**, Porto Alegre, 2a edição: Companhia Editora Bookman, 2002.

STAKE, R. E., **Case Studies**, Thousand Oaks, second edition: Sage, 2000

SWAMIDASS, P.M., Manufacturing Flexibility, Monograph n.2, **Operations Management Association**, 1988.

SWAMIDASS P. M.; NEWELL, W.T., Manufacturing strategy, environmental uncertainty and performance: a path-analytic model, **Management Science**, v.33, n.1, p. 509-534, 1987.

TOMBAK, M.; DEMEYER, A., Flexibility and FMS: empirical analysis, **IEEE Transactions on Engineering Management**, v.35 n.2 p.101-107, 1988.

TOMPKINS, J. A.; e WHITE, J. A. **Facilities planning**, New York, 2nd edition: John Wiley and Sons Inc., 1996

WEEKS, J., Planning for Growth and Change, **The Architects Journal Information Library**, p, 20-22, 07 jul 1960.

WILLIAMS, B. e WORTHINGTON, J., The premises Audit-Space Use, **Facilities**, v 4 n 2 p 5-13, 1986

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROOS D. A., **A máquina que mudou o mundo**, p 3, Rio de Janeiro: Campus, 1992

WOMACK, J. P.; JONES, D. T., **A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie a riqueza**, Rio de Janeiro: Campus, 1998

WOMACK, J. P. “The challenge of value stream management” , In: LEAN ENTERPRISE INSTITUTE VALUE STREAM MANAGEMENT CONFERENCE, 2000, Dearborn, MI. **Proceedings...** Dearborn , MI, Lean Enterprise Institute, 2000.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**, Porto Alegre, 2^a. Edição: Bookman, 2001.

APÊNDICE A – Subsistemas de edifícios industriais

No Quadro A1.1, é apresentada uma das listas das atividades construtivas mais utilizadas para cálculo de preço de orientação de obras e serviços de infra-estrutura industrial na montadora do estudo de caso. Onde o autor desta pesquisa exerce a função de analista de pré-planejamento industrial. Essa planilha auxiliou na elaboração do Quadro 3.1.

QUADRO A1.1 : Itens principais da planilha de cálculo de preço de orientação para edifícios industriais

1	Serviços iniciais
2	Movimento de terra
3	Fundações
4	Impermeabilização
5	Estrutura
5.1	Estrutura metálica
5.2	Lajes de concreto pré-fabricado
6	Cobertura
7	Alvenarias
8	Instalações
8.1	Elétricas
8.2	Hidráulicas
8.3	Climatização
8.4	Ventilação e exaustão
9	Esquadrias
10	Revestimentos
11	Piso
12	Forro
13	Pintura
14	Vidros
15	Diversos

Os Quadros A1.2 e A1.3 detalham o Quadro 3.1, a partir da sub-divisão do edifício industrial em edifício e layout:

QUADRO A1.2 – Detalhamento das variáveis de estudo do edifício industrial – edifício

	Elemento		Sub-elemento	Função
1.1	Fundação	1.1.1	Sapatas	Embasamento
		1.1.2	Estacas	
		1.1.3	Tubulões	
		1.1.4	Blocos	
1.2	Estrutura	1.2.1	Vigas	Sustentação
		1.2.2	Pilares e colunas	
		1.2.3	Lajes	
		1.2.4	Pisos	
1.3	Fechamento	1.3.1	Alvenarias	Vedação
		1.3.2	Painéis	
		1.3.3	Placas	
		1.3.4	Chapas	
		1.3.5	Portas	Acesso
		1.3.6	Janelas	
1.4	Cobertura	1.4.1	Tesouras	Sustentação
		1.4.2	Terças	
		1.4.3	Contra ventamentos	
		1.4.4	Chapas	Cobrimento
		1.4.5	Telhas	
1.5	Elementos especiais	1.5.1	Blocos e bases para máquinas e equipamentos	Sustentação
		1.5.2	Paredes diafragma	
		1.5.3	Arrimos	
		1.5.4	Tanques	Reservação
		1.5.5	Caixas d'água	
		1.5.6	Poços de visita	Inspeção
		1.5.7	Valetas de inspeção	
		1.5.8	Poços de captação	
		1.5.9	Escadas	Circulação
		1.5.10	Passarelas	
		1.5.11	Passeios	
		1.5.12	Viário	
1.6	Revestimentos	1.6.1	Acústica	Proteção
		1.6.2	Térmica	
		1.6.3	Luminosa	
		1.6.4	Umidade	
		1.6.5	Substâncias agressivas	
		1.6.6	Pintura	Acabamento
		1.6.7	Cerâmicos	
		1.6.8	Naturais	
		1.6.9	Metálicos	
		1.6.10	Vítreos	

QUADRO A1.3– Detalhamento das variáveis de estudo do edifício industrial – *layout*

	Elemento		Sub-elemento	Função
2.1	Máquinas e equipamentos	2.1.1	Transformadores	Fornecimento
		2.1.2	Bombas	
		2.1.3	Radiadores	
		2.1.4	Compressores	
		2.1.5	Aquecedores	
		2.1.6	Transmissores	
		2.1.7	Receptores	
		2.1.8	Misturadores	
		2.1.9	Condicionadores	
		2.1.10	Válvulas	Controle
		2.1.11	Registros	
		2.1.12	Medidores	
		2.1.13	Sensores	
		2.1.14	Painéis	
		2.1.15	Quadros	
		2.1.16	Filtros	
2.2	Tubulações	2.2.1	Elétrica	Distribuição e coleta
		2.2.2	Hidráulica	
		2.2.3	Comunicação	
		2.2.4	Instrumentação	
		2.2.5	Climatização	
2.3	Condutores	2.3.1	Cabeamentos	Distribuição e recepção
		2.3.2	Barramentos	
		2.3.3	Fibras ópticas	
2.4	Estruturas auxiliares	2.4.1	Abraçadeiras	Fixação
		2.4.2	Cintas	
		2.4.3	Grampos	
		2.4.4	Chumbadores	
		2.4.5	Barras de carga	Sustentação
		2.4.6	Suportes	
		2.4.7	Leitos	
		2.4.8	Torres	
		2.4.9	Cabos	
3.1	Equipamentos e dispositivos	3.1.1	Monovias	Transporte
		3.1.2	Pontes rolantes	
		3.1.3	Esteiras	
		3.1.4	Mesas giratórias	
		3.1.5	Veículos tracionadores	
		3.1.6	Correntes tracionadoras	Tração
		3.1.7	Engrenagens	
		3.1.8	Talhas	Elevação
		3.1.9	Elevadores	
		3.1.10	Plataformas	
		3.1.11	Guinchos	
		3.1.12	Paleteiras	Armazenagem
		3.1.13	Embalagens	
		3.1.14	Gaveteiros	
		3.1.15	Carrocéis	
		3.1.16	Carretéis	
		3.1.17	Pátios	

APÊNDICE B – Levantamento e detalhamento da amostra

Esse anexo contém o detalhamento de cada uma das dezesseis mudanças da amostra, e foi elaborado a partir do levantamento de dados na montadora, objeto deste estudo.

MUDANÇA 1 – ano: 1998

Edifício industrial: diversos

Necessidade da manufatura: legislação ambiental

Ferramenta *lean*: 5S

Sistema: edificação

Sub-sistema: fechamento

Elemento: chapas

Aspecto da mudança: obsolescência

Solução existente: telhas de cimento amianto

Solução construtiva adotada: chapas metálicas conformadas + alvenaria de blocos

Solução construtiva mais flexível: chapas metálicas conformadas

Com a adequação da manufatura, aplicados os conceitos da ferramenta *lean*: 5S, e em atenção aos quesitos da norma ISO 14000 e normas complementares, no que tange à substituição de elementos utilizados diretamente ou não na manufatura, constituídos de amianto ou derivados e a disposição em aterros homologados e controlados dos resíduos desses materiais, o edifício industrial, também deve atender a esses quesitos das normas. Nessa planta industrial existem alguns edifícios industriais que utilizam telhas onduladas de cimento-amianto fixadas verticalmente em perfis metálicos, formando uma estrutura auxiliar de sustentação, fixada externamente à estrutura metálica principal da edificação,

conformando assim o fechamento lateral dos mesmos. Por uma determinação administrativa foi realizado um planejamento para substituição gradativa do sub-sistema fechamentos, nos edifícios existentes, e a adoção de uma solução construtiva para as ampliações. Para a substituição dos elementos deste sub-sistema do edifício industrial foi realizado um estudo a partir das seguintes premissas: utilizar materiais constituintes dos elementos construtivos que atendessem à nova legislação ambiental e às exigências técnicas relativas a conforto termo-acústico, à iluminação natural e à estanqueidade; o método de substituição e o sistema construtivo que interferissem de forma mínima nos processos industriais durante a substituição e durante a vida útil do mesmo; decidir pelo conjunto, método de substituição e sistema construtivo, que apresentasse a viabilidade técnico-econômica mais atrativa financeiramente, ou seja o menor custo e prazo de implantação, e o menor custo e menor frequência de manutenções no decorrer da vida útil. Esse estudo avaliou a aplicação de chapas corrugadas simples e duplas com recheio termo-acústico de lã de rocha, com juntas secas e zipadas em diversos materiais, tais como: cerâmicos, concretos, plásticos, fibrocimento, alumínio, aço galvanizado e ligas metálicas como zincalume, fixadas a estruturas metálicas auxiliares, bem como alvenarias de blocos cerâmicos e concreto (Figura 4.11). Atendidas as premissas, o estudo demonstrou que para fechamentos laterais dos edifícios se utilizaria uma solução mista de alvenaria de blocos de concreto estrutural com respaldo a dois metros e meio acima do piso interno acabado para fixação de esquadrias, complementado, a partir da altura de dois metros e vinte centímetros, pela aplicação de fechamento em chapas corrugadas simples, sem emendas horizontais e com juntas secas na vertical fixadas em uma estrutura metálica auxiliar a estrutura principal; mantido um distanciamento de vinte centímetros da alvenaria e uma sobreposição de trinta centímetros, projeta-se para fora o pano metálico do fechamento, criando um acesso para a ventilação natural em todo o contorno do edifício; ainda, o pano metálico se estende a uma altura de um metro acima dos espigões da cobertura por razões estéticas. Essa solução foi aplicada já em três edifícios industriais, a saber: ferramentaria, motores e prensas.

Conclusão: este fechamento confere ao edifício industrial mais flexibilidade que outras concepções não atingem seja na rapidez de execução, ampliação e modificação, seja na limpeza da obra, pois sua montagem e desmontagem não acumulam entulho ou pó como nos fechamentos em alvenaria, por exemplo.

MUDANÇA 2 – ano: 2002

Edifício industrial: todos

Necessidade da manufatura: legislação ambiental

Ferramenta *lean*: 5S

Sistema: edificação

Sub-sistema: cobertura

Elemento: telhas

Aspecto da mudança: obsolescência

Solução existente: telhas onduladas em cimento-amianto

Solução construtiva adotada: telhas termo acústicas metálicas conformadas

Solução construtiva mais flexível: telhas termo acústicas metálicas conformadas

Com a adequação da manufatura, aplicados os conceitos da ferramenta *lean* 5S, e em atenção aos quesitos da norma ISO 14000 e normas complementares, no que tange à substituição de elementos utilizados diretamente ou não na manufatura, constituídos de amianto ou derivados e a disposição em aterros homologados e controlados dos resíduos desses materiais, o edifício industrial, também deve atender a esses quesitos das normas. Nesta planta industrial a maioria dos edifícios industriais utiliza telhas onduladas de cimento-amianto nas coberturas (cerca de quatrocentos mil metros quadrados). Pela mesma determinação administrativa, relativa à Mudança 1, foi realizado um planejamento para substituição gradativa do sub-sistema: cobertura, nos edifícios existentes, e a adoção de uma solução para as futuras ampliações. Para a substituição desses elementos foi realizado um estudo a partir das seguintes premissas: utilizar materiais constituintes dos elementos construtivos que atendessem à nova legislação ambiental e às exigências técnicas relativas a

conforto termo-acústico, à iluminação natural e à estanqueidade; o método de substituição e o sistema construtivo que interferisse de forma mínima nos processos industriais durante a substituição e durante a vida útil do mesmo; decidir pelo conjunto, método de substituição e sistema construtivo, que apresentasse a viabilidade técnico-econômica mais atrativa financeiramente, ou seja, o menor custo e prazo de implantação, e o menor custo e menor frequência de manutenções no decorrer da vida útil. Esse estudo avaliou a aplicação de chapas corrugadas simples e duplas com recheio termo-acústico de lã de rocha, com juntas secas e zipadas em diversos materiais, tais como: cerâmicos, plásticos, fibrocimento, alumínio, aço galvanizado e ligas metálicas como zincolume (Figura 4.13). Atendidas as premissas, o estudo demonstrou que para as coberturas dos edifícios seriam utilizadas telhas em alumínio ou aço galvanizado, duplas, sendo que as telhas com face para o interior do edifício em chapa corrugada sobreposta nas emendas e as telhas com face para o meio externo em chapa lisa zipada nas emendas, ambas conformadas contínuas *in loco*, em relação à inclinação das águas da cobertura, entremeadas por uma camada de lã de rocha como proteção termo acústica; nas clarabóias e faces verticais dos *sheds* seriam utilizadas chapas transparentes em policarbonato; todas as coberturas seriam providas de escadas de acesso e passadiços metálicos em aço galvanizado para manutenção das coberturas; acessórios em alumínio, tais como: calhas, rufos, caixas de pressão; condutores em pvc e tubos de queda em ferro fundido. Esta solução construtiva já foi aplicada em diversos edifícios industriais, a saber: eixos, motores, ferramentaria, escritórios administrativos, totalizando cerca de cento e cinquenta mil metros quadrados.

Conclusão: essa cobertura confere ao edifício industrial flexibilidade, que outras concepções não atingem, seja: na rapidez de execução, ampliação e modificação; na estanqueidade em razão da quantidade relativa de emendas por metro quadrado e pontos de fixação não perfurantes; limpeza da obra, pois sua montagem e desmontagem não acumulam entulho ou pó como nas coberturas cerâmicas e derivadas de cimento; na adaptabilidade nas ampliações, na economia em energia, em razão do melhor aproveitamento da iluminação natural.

MUDANÇA 3 – ano: 2003

Edifício industrial: montagem final

Necessidade da manufatura: adequação de *layout*

Ferramenta *lean*: *Kaizen*

Sistema: edificação

Sub-sistema: estrutura

Elemento: lajes

Aspecto da mudança: mudança interna

Solução existente: lajes vazadas

Solução construtiva adotada: demolição e reconstrução de trechos de laje

Solução construtiva mais flexível: plataforma metálica elevada

As exigências de mercado compelem a montadora a lançar novos produtos, para atender os clientes e fazer frente à concorrência. Para serem produzidos esses novos modelos de veículos comerciais, que possuem dimensões maiores, foram necessárias adequações da manufatura, no processo de montagem final de veículos, devido à necessidade de adequação do *layout* para a introdução de novos equipamentos de montagem. Com isso, surgiram três alternativas de solução: adequar simplesmente o *layout* existente; adequar e ampliar o *layout* existente; transferir e adequar o *layout* existente em outro edifício industrial. Após um evento de *Kaizen*, chegou-se a conclusão que era preciso ampliar e adequar o *layout* existente. O edifício industrial onde está situada a montagem final de caminhões é um edifício tradicional da década de 60, construído em estrutura de concreto, com três pavimentos em laje de concreto moldado *in loco*, e a alvenaria de fechamento em tijolos de barro comuns, é revestida externamente em lito-cerâmica e internamente simplesmente rebocada, com pé

direito de seis metros (Figura 4.8). O processo de montagem utiliza mesas tracionadoras, apoiadas sobre a laje e fixados por chumbadores; o acionamento dessas mesas é feito por motores elétricos que são posicionados no final e abaixo das linhas de montagem, fixados em vãos abertos nas lajes. Qualquer adequação de *layout* necessita de abertura e fechamento de vãos na laje de piso e do reposicionamento dos pontos de abastecimento de utilidades e coleta de efluentes, apontando pouca flexibilidade do edifício industrial com relação ao processo de montagem.

Conclusão: uma solução construtiva mais flexível, que poderia ser aplicada seria um piso elevado em chapas de aço, sobre estrutura metálica auxiliar de sustentação, nivelado com a parte superior das mesas tracionadoras, permitindo a passagem das utilidades entre a laje e a face inferior da plataforma, bem como a instalação dos motores das mesas tracionadoras, sobre as lajes sem ter que rompê-las para criar vãos. Essa plataforma, ainda poderia adquirir maior flexibilidade a partir da confecção da mesma com elementos modulares estruturais prismáticos de dimensões múltiplas de um metro (Figura 4.15).

MUDANÇA 4 – ano: 2000

Edifício industrial: fábrica de motores

Necessidade da manufatura: adequação de *layout*

Ferramenta *lean*: *Kaizen*

Sistema: edificação

Sub-sistema: todos

Elemento: todos

Aspecto da mudança: mudança interna e externa

Solução existente: edifício em alvenaria revestida em lito-cerâmica

Solução construtiva adotada: ampliação da edificação em edifício misto, estrutura metálica e alvenaria

Solução construtiva flexível: edifício metálico

As exigências de mercado compelem a montadora a lançar novos produtos, para atender aos clientes e fazer frente à concorrência. Para serem produzidos esses novos modelos de veículos comerciais, que possuem motores mais potentes e com dimensões diferentes dos já comercializados, foram necessárias adequações da manufatura, no processo de usinagem de motores, devido à necessidade de adequação do *layout* para a introdução de novos equipamentos de usinagem de blocos do motor. Contudo, o edifício industrial que abriga a manufatura de motores, não tem disponibilidade de espaço interno, uma vez que no evento de *Kaizen* promovido para a readequação de *layout* desse edifício industrial, concluiu-se pela necessidade de uma ampliação externa ao edifício. Com isso, surgiram quatro alternativas de solução de ampliação do edifício existente, a partir da construção de: uma cobertura metálica

leve com fechamento metálico, uma cobertura metálica leve sem fechamento; uma cobertura reforçada e fechamento em alvenaria revestida em lito-cerâmica, no mesmo conceito arquitetônico do edifício existente; uma cobertura metálica leve e fechamento misto (metálico leve e alvenaria de blocos estruturais a meia altura). Optou-se pela solução intermediária de cobertura leve e fechamento misto, por se tratar de um sistema construtivo de execução, simples, rápida e de médio custo, de adaptação intermediária às novas ampliações, pois os painéis do fechamento lateral são facilmente removidos e transferidos para uma nova posição, porém ainda persiste a necessidade de demolições de alvenarias, mesmo que em menor quantidade.

Conclusão: uma solução mais flexível que poderia ser adotada seria: de cobertura leve e fechamento metálico simplesmente, por se tratar de um sistema construtivo modular, de execução, simples, rápida e de baixo custo, de fácil adaptação à novas ampliações, pois os painéis do fechamento lateral são facilmente removidos e transferidos para uma nova posição.

MUDANÇA 5 – ano: 2005

Edifício industrial: montagem final

Necessidade da manufatura: adequação de *layout*

Ferramenta *lean*: 5S

Sistema: movimentação

Sub-sistema: transportadores

Elemento: caminhos

Aspecto da mudança: mudança interna

Solução existente: transportadores aéreos

Solução construtiva adotada: mista transportadores aéreos e de superfície

Solução construtiva flexível: transportadores aéreos

No dia a dia da produção surgem oportunidades de melhoria, e a partir de sugestões dos colaboradores que atuam no chão de fábrica são realizadas mudanças na manufatura, que podem facilitar a execução das suas atividades. Dos conceitos de 5S, a disciplina e a segurança nas atividades produtivas são fundamentais também, para a satisfação dos colaboradores, em consequência, diante da solicitação daqueles que trabalham na montagem final de veículos foi modificado um trecho do sistema de transportadores aéreos de cabinas, criando-se um caminho alternativo para transporte das cabinas no piso industrial, através veículos tracionadores elétricos auto-guiados (*AGV*). Apesar da segurança do sistema *EOM*, os colaboradores inquietavam-se com a passagem das cabinas a alguns metros acima de suas cabeças, no sentido de eliminar esse desconforto realizou-se essa modificação. Antes da modificação, foram estudadas três alternativas de solução: manter o *EOM*; utilizar

transportadores de superfície, compostos de mesas tracionadoras e mesas giratórias; utilizar *AGV's (Auto Guided Veicule)*. Optou-se pelos *AGV's*, pois a instalação dos caminhos é simples, limitando-se a pintura dos mesmos no solo. Contudo foram necessárias modificações no edifício industrial, tais como: modificar o *layout* da montagem final, instalar um posto para recargas de baterias estacionárias e reduzir-se o espaço para circulação entre os postos de trabalho.

Conclusão: a solução flexível no caso é o sistema *EOM*, uma vez que ele possui todas as funções de elevação, translação e giro do elemento transportado, mas por uma questão de conforto do usuário optou-se por uma solução híbrida menos flexível, pois foi necessário sobrepor-se equipamentos com as mesmas funções, aumentando o consumo de energia, reduzindo o espaço de circulação e aumentando o tempo *takt* da linha de montagem.

MUDANÇA 6 – ano: 2007

Edifício industrial: montagem bruta de cabines

Necessidade da manufatura: substituição de equipamento de pintura com adequação de *layout*

Ferramenta *lean*: *Kaizen*

Sistema: todos

Sub-sistema: todos

Elemento: todos

Aspecto da mudança: mudança interna e externa

Solução anterior: edifício em alvenaria revestida em lito-cerâmica

Solução construtiva adotada: edifício misto metálico+alvenaria

Solução construtiva mais flexível: edifício metálico

Essa mudança advém da necessidade da substituição dos equipamentos do processo de pintura de cabinas, por obsolescência do processo. Após 40 anos de produção, o processo de pintura teve ultrapassada a vida útil de seus equipamentos, bem como a concepção tecnológica, portanto devem ser substituídos. Essa substituição em razão das novas tecnologias, não admite apenas a mera substituição dos equipamentos existentes, mas o rearranjo dos processos precedentes e posteriores ao processo de pintura, uma vez que o vulto do investimento implica na escolha de um processo com perspectiva de aplicação de no mínimo vinte anos. O sistema atual utiliza como diluentes para as tintas, solventes orgânicos, as novas tecnologias já utilizam água como solvente. Após um evento de *Kaizen* concluiu-se que o novo processo continuaria utilizando como diluente: solventes orgânicos, porém os

equipamentos a serem adquiridos deviam ter flexibilidade para utilizar água como solvente, caso venha a ser exigido pelo mercado ou pela legislação. Para tanto foram realizados estudos que culminaram com a apresentação de nove diferentes soluções alternativas de processo e conseqüentemente de cinco modificações diferentes do edifício industrial. Essas cinco alternativas de modificações do edifício industrial foram: construção de um edifício novo para todo o processo de pintura; construção de um edifício novo somente para esmalte e ampliação de outro edifício industrial para o pré-tratamento; simples reforma do edifício atual; adaptação de edifício existente para o novo processo com mudança de *layout*; ocupação e adaptação da parte ociosa de um edifício existente; mudança, adaptação e ocupação de partes de três outros edifícios existentes. Desses estudos optou-se pela ampliação do prédio da montagem bruta de cabinas, para acomodar o processo de pré-tratamento (KTL, eletroforese catiônica), e a construção de um edifício novo para aplicação de esmalte.

Conclusão: a solução construtiva mais flexível seria a construção de um edifício novo para todo o processo de pintura, interligando-o através de transportadores aos edifícios existentes, e preparando-se o sítio industrial para uma futura adequação do processo de produção como um todo, optou-se por uma solução intermediária de flexibilidade do edifício industrial, escalonando partes do processo de pintura, e antecipando a troca dos equipamentos por impacto decrescente de obsolescência.

MUDANÇA 7 – ano: 2004

Edifício industrial: montagem de chassis de ônibus

Necessidade da manufatura: novo processo de montagem exclusivo para ônibus

Ferramenta *lean: Kaizen*

Sistema: utilidades

Sub-sistema: estruturas auxiliares

Elemento: barras e pórticos de carga

Aspecto da mudança: mudança interna e externa

Solução anterior: transportador aéreo fixado na estrutura da cobertura

Solução construtiva adotada: adaptação de edifício existente

Solução construtiva mais flexível: barras e pórticos de carga

Essa mudança ocorreu em razão da reestruturação administrativa da empresa, que separou a montagem final de caminhões da montagem final de ônibus com motor dianteiro. Há cinquenta anos que a manufatura de chassis de ônibus com motor dianteiro, exclusivamente, e caminhões, mantiveram-se juntas. Porém, diversas mudanças ocorreram nesses anos e na última delas a empresa resolveu reunir num único prédio a montagem dos diversos tipos de chassis de ônibus que ela introduziu na sua carteira de produtos (aumento de volume de produção e variação no mix de produtos). Dentre as alternativas de solução construtiva exclusivas para ônibus, tinha-se: construir um edifício novo interno a planta atual; construir um edifício externo à planta atual; ocupar um edifício noutra planta; ocupar um edifício interno à planta a partir da desocupação e adequação de outras atividades desse edifício, em outros edifícios. Optou-se pela ocupação de um edifício interno, mesmo assim a mudança

teve aspecto de mudança externa, pois não ficou restrita somente a esse edifício industrial envolvendo diversos outros edifícios da planta atual. O edifício escolhido é em estrutura de concreto pré-moldado, com fechamentos em alvenaria de blocos de concreto revestida externamente por lito-cerâmica e internamente simplesmente rebocada e pintada, com cobertura em estrutura metálica leve e coberta por telhas onduladas em cimento-amianto. Este edifício abrigava os almoxarifados de exportação, que foram parcialmente transferidos e o remanescente foi otimizado. Em razão da estrutura da cobertura estar dimensionada apenas para sustentar as telhas e a força do vento, não permitindo a fixação de equipamentos utilizados na montagem de ônibus, optou-se por transportadores tracionadores de montagem embutidos no piso, todos os equipamentos aéreos foram fixados em barras de carga apoiadas nos pilares da estrutura do edifício e em pórticos fixados no piso do edifício a partir de chumbadores.

Conclusão: a solução construtiva mais flexível está na aplicação de barras de carga e pórticos metálicos independentes da estrutura principal do edifício, podendo ser removidos ou complementados de acordo com as necessidades de sustentação dos equipamentos e utilidades da manufatura. Diferentemente de outros edifícios industriais desta planta fabril que tiveram a estrutura de suas coberturas dimensionadas para a fixação de equipamentos, que fossem transformados em almoxarifados, por exemplo, passariam a ter seu investimento inicial mal aproveitado, pois não utilizariam o potencial de sobrecarga da estrutura da cobertura. O que leva a perceber, em sentido amplo, que a flexibilidade deve atender às necessidades de ampliação, bem como às de redução.

MUDANÇA 8 – ano: 2003

Edifício industrial: central de utilidades

Necessidade da manufatura: pintura de peças e montagem de motores

Ferramenta *lean*: *Kaizen*

Sistema: utilidades

Sub-sistema: tubulações

Elemento: filtros

Aspecto da mudança: mudança interna

Solução anterior: central de grande porte

Solução construtiva adotada: ampliação da central de grande porte

Solução construtiva mais flexível: centrais compactas de pequeno porte

A empresa faz uso de duas centrais de utilidades, em razão das suas dimensões e das demandas de insumos de produção. A concepção de utilização de centrais de utilidades de grande porte vem desde a fundação da unidade da Grande São Paulo. Entre os vários insumos ali manipulados encontra-se a água desmineralizada que é obtida a através de sistemas de filtração da água potável da rede pública ou de poços profundos. Essa água desmineralizada é utilizada em dois processos: pintura de peças e teste de motores, sendo importante a manutenção de suas características físico-químicas para a qualidade das peças. Até pouco tempo essa água era obtida pela central de ultra-filtração, mais recentemente em razão do aumento de demanda devido ao aumento de produção e *mix* de produtos foi agregada à central de filtragem uma nova estação, com tecnologia de osmose reversa. A nova estação de osmose reversa foi instalada na central de utilidades após as modificações internas

necessárias de *layout*, interligando-a ao sistema de distribuição de água desmineralizada existente.

Conclusão: a solução construtiva adotada foi uma contingência do conceito de gerenciamento de utilidades adotado pela empresa, de centrais de grande porte, que atendem diversos edifícios industriais e diversos processos. A tecnologia de osmose reversa é mais avançada e eficiente que a tecnologia de ultra-filtração para esta aplicação, porém a solução construtiva mais flexível seria a individualização por processo de produção, ou edifício industrial, devido à: distância dos pontos de consumo com a central; otimização do investimento em novos equipamentos modulares menores; redução de longas extensões de tubulações de distribuição com risco de vazamentos. Esse mesmo conceito, de individualização por processo se aplica para ar comprimido, gases industriais, subestações elétricas, geradores de emergência, entre outros, introduzindo centrais modulares compactas.

MUDANÇA 9 – ano: 2006

Edifício industrial: central de climatização

Necessidade da manufatura: climatização de edifícios administrativos

Ferramenta *lean*: 5S

Sistema: utilidades

Sub-sistema: máquinas e instrumentos

Elemento: condicionadores de ar

Aspecto da mudança: obsolescência

Solução anterior: sistema de ar condicionado com gás refrigerante

Solução construtiva adotada: sistema de ar condicionado sem gás refrigerante

Solução construtiva flexível: sistema de climatização

Com as recentes modificações na legislação ambiental: proibição de gases refrigerantes em equipamentos de resfriamento (refrigeradores, equipamentos de ar condicionado, entre outros); substituição gradativa dos equipamentos atuais por outros que atendessem a nova legislação; e com a necessidade de aumentar a capacidade de fornecimento de ar resfriado para os edifícios administrativos, foi desativada a antiga central de resfriamento de ar por água gelada armazenada nos horários de baixa demanda, por uma nova central que utiliza torres de resfriamento, de grande eficiência, em substituição aos gases refrigerantes.

Conclusão: como na Mudança 8, a solução construtiva adotada nesse caso foi uma contingência do conceito de gerenciamento de utilidades adotado pela empresa, de centrais de grande porte. Todavia aqui, os edifícios a serem atendidos estão muito próximos, e foram

necessárias pequenas adaptações para interligação à antiga tubulação de distribuição. A solução construtiva mais flexível para climatização, além dos novos equipamentos de resfriamento, associa o controle automatizado de abertura e fechamento das aberturas do edifício, permitindo a ventilação natural, utilizando sensores de temperatura, umidade relativa e velocidade do ar, mesclando as condições físicas do meio externo com as do interno, criando um meio equilibrado com as características físicas projetadas economizando energia.

MUDANÇA 10 – ano: 2007

Edifício industrial: estamparia

Necessidade da manufatura: pintura eletroforética de peças estampadas

Ferramenta *lean: kaizen*

Sistema: utilidades

Sub-sistema: máquinas e instrumentos

Elemento: aquecimento

Aspecto da mudança: obsolescência, adequação a nova tecnologia

Solução anterior: estufa de secagem com aquecimento por óleo térmico

Solução construtiva adotada: aquecimento por queima de gases de exaustão

Solução construtiva mais flexível: aquecimento por queima de gases de exaustão

As peças estampadas pequenas, tais como: suportes, bandejas, tampas entre outros, utilizadas no veículo, recebem diversos tratamentos de proteção contra corrosão antes de serem enviados para a montagem dos veículos. Um desses tratamentos é a eletroforese aniônica (ATL), que consiste numa primeira fase do processo a passagem por imersão das peças em um tanque com uma solução aniônica e uma segunda fase a secagem das mesmas numa estufa aquecida por óleo térmico proveniente da central de utilidades. Esse sistema de pintura possui um sistema auxiliar de filtragem de emissões de névoas, com pós-queimadores de solventes, cujos gases de queima eram descarregados na atmosfera. Com a modificação do sistema, para a nova tecnologia esses gases aquecidos passaram a ser re-circulados e reaproveitados para aquecimento da estufa eliminando assim a necessidade do óleo térmico. O que resultou na desativação da tubulação de distribuição de óleo térmico, na

disponibilidade do sistema de atender outras atividades, e na economia no processo que superou o investimento da modificação.

Conclusão: a solução construtiva adotada simplificou o sistema de distribuição de utilidades, disponibilizou capacidade no sistema, reduziu e otimizou o consumo de energia e reduziu as perdas de calor do sistema de eletroforese, como um todo.

MUDANÇA 11 – ano: 2005

Edifício industrial: todos

Necessidade da manufatura: controle do consumo de água potável

Ferramenta *lean: kaizen*

Sistema: utilidades

Sub-sistema: tubulações

Elemento: hidráulica

Aspecto da mudança: obsolescência, adequação ao gerenciamento financeiro

Solução anterior: medição global com rateio proporcional por todos os centros de custo

Solução construtiva adotada: medição global e medição individualizada por edifício industrial, rateio ponderado pelos centros de custo

Solução construtiva mais flexível: medição global e medição individualizada por edifício industrial, rateio ponderado pelos centros de custo

As despesas com consumo de água eram simplesmente rateadas proporcionalmente nos *budgets* dos centros de custo a partir da nota de consumo mensal da concessionária respectiva, medido no hidrômetro de entrada da empresa. No entanto é introduzida no sistema, água proveniente de poços profundos, que não passa pelo hidrômetro da concessionária. No sentido de reduzir o consumo, detectar vazamentos em alguns trechos que ainda possuem tubulações enterradas e tornar os rateios condizentes com o consumo de cada um dos centros de custos, evitando reclamações relativas aos rateios proporcionais por parte dos gestores dos mesmos centros de custo, assim foram estudadas três alternativas construtivas: manter o sistema existente, medição global e torneiras tradicionais; adotar o controle e medição do consumo por hidrômetros e torneiras de fechamento automático por

centro de custos; adotar o controle e medição do consumo por hidrômetros e torneiras de fechamento automático por edifício e rateio ponderado por centro de custos. Optou-se pela adoção de hidrômetros por edifício industrial, torneiras de fechamento automático e rateio ponderado do consumo medido, pois existem vários processos que não utilizam água potável, ficando seu uso restrito às necessidades dos colaboradores.

Conclusão: a solução construtiva adotada simplificou o sistema de distribuição de utilidades, disponibilizou capacidade no sistema, reduziu e otimizou o consumo de água, facilitou a operação e manutenção do sistema, criando setores por edifício industrial, além de possibilitar o controle financeiro, computando a vazão proveniente dos poços profundos e preparando o sistema para um futuro monitoramento remoto, que flexibilizará mais ainda o sistema.

MUDANÇA 12 – ano: 2007

Edifício industrial: usinagem

Necessidade da manufatura: redução do consumo de ar comprimido

Ferramenta *lean: kaizen*

Sistema: utilidades

Sub-sistema: tubulações

Elemento: hidráulica

Aspecto da mudança: obsolescência, atualização tecnológica

Solução anterior: pontos de suprimento de ar comprimido

Solução construtiva adotada: eliminação dos pontos de suprimento de ar comprimido

Solução construtiva mais flexível: setores de distribuição de ar comprimido

No edifício de fabricação de eixos eram utilizados balancins pneumáticos para auxiliar na operação de içar ferramentas, durante a preparação das máquinas de usinagem. O sistema de distribuição de ar comprimido atende a diversos edifícios industriais simultaneamente e foi dimensionado em anel, para uma determinada faixa de pressões que atende a todos os equipamentos a ele interligados, com isso esse conceito de funcionamento acarreta um custo fixo devido à permanência ininterrupta desta faixa de pressões. Com a substituição dos balancins pneumáticos por mecânicos, obteve-se a redução dos custos de operação e manutenção pneumática, a eliminação de ramais e pontos de fornecimento de ar comprimido para os balancins, além da liberação da capacidade instalada para outros usos. Para o sistema essa substituição tecnológica de balancins denotou a necessidade da adoção de setores de abastecimento e monitoramento remoto do sistema de utilidades não só no que tange a pneumática, mas também para todas as outras utilidades.

Conclusão: a substituição de conceito dos equipamentos de içar simplificou a solução construtiva do sistema de distribuição de utilidades: disponibilizou capacidade no sistema, eliminou parte do consumo de ar comprimido, abriu a possibilidade de facilitar a operação e manutenção do sistema, a partir da adoção de setores de abastecimento e prepará-lo para um futuro monitoramento remoto, que poderá trazer mais flexibilidade ao sistema.

MUDANÇA 13 – ano: 2004

Edifício industrial: usinagem

Necessidade da manufatura: mudança de layout para instalação de novas máquinas

Ferramenta *lean*: célula de manufatura

Sistema: utilidades

Sub-sistema: condutores

Elemento: barramentos

Aspecto da mudança: mudança interna

Solução anterior: distribuição de energia por circuitos utilizando cabos

Solução construtiva adotada: distribuição de energia por circuitos utilizando barramentos blindados

Solução construtiva mais flexível: distribuição de energia por circuitos utilizando barramentos blindados

O sistema de distribuição elétrica constituía-se de circuitos, individuais por máquina, em cabos de cobre interligados a quadros de força, com a tecnologia de barramentos, esses circuitos foram substituídos, devido à facilidade de instalação e a maior flexibilidade que apresentam quanto ao ponto de fornecimento, reduzindo substancialmente o consumo de cabos e as perdas de energia. No edifício de fabricação de eixos, encontram-se um número expressivo de centros de usinagem para produção de engrenagens, que substituíram os antigos tornos, fresas, brochadeiras, entre outros, e com isso foi necessário a adequação de *layout* e a mudança do conceito de distribuição de energia, para uma solução que desse maior flexibilidade para atender às sucessivas mudanças de *layout*, com variação de demanda, otimizando a capacidade existente, facilitando a substituição de máquinas ou

grupos de máquinas, e que habilitasse o edifício industrial a produzir eixos no conceito *lean* de células de trabalho. Para isso optou-se pela distribuição de energia por barramentos.

Conclusão: a introdução do conceito de distribuição por barramentos simplificou o sistema de distribuição elétrica e por consequência o sistema de utilidades como um todo, disponibilizou capacidade no sistema, reduziu substancialmente as perdas, tornou mais segura as interligações, abriu a possibilidade de facilitar a operação e manutenção do sistema, a partir da subdivisão por setores e preparando-o para um futuro monitoramento remoto, que poderá dar mais flexibilidade, ainda, ao sistema.

MUDANÇA 14 – ano: 2004

Edifício industrial: montagem bruta

Necessidade da manufatura: redução de exposição humana em atividades de soldagem

Ferramenta *lean*: célula de manufatura

Sistema: utilidades

Sub-sistema: condutores

Elemento: barramentos

Aspecto da mudança: mudança interna

Solução anterior: distribuição de energia por circuitos utilizando cabos

Solução construtiva adotada: distribuição de energia por circuitos utilizando barramentos blindados

Solução construtiva mais flexível: distribuição de energia por circuitos utilizando barramentos blindados e aterramento elétrico do piso técnico

O sistema de distribuição elétrica constituía-se de circuitos, individuais por máquina, em cabos de cobre interligados a quadros de força, com a tecnologia de barramentos estes circuitos vêm sendo substituídos devido a facilidade de instalação e a flexibilidade que apresentam quanto ao ponto de fornecimento, reduzindo substancialmente o consumo de cabos e as perdas de energia. Neste edifício de montagem bruta, predominavam máquinas de solda para conformação das cabinas, que foram substituídas por robôs de solda e *AGV's*, criando-se células de manufatura automatizadas, com isso foi necessário preliminarmente a adequação de *layout*, a mudança do conceito de distribuição e aterramento elétrico, além da adequação do piso técnico, nivelando-o e aplicando revestimento dielétrico epoxídico para uma solução que oferecesse maior flexibilidade para sucessivas mudanças de *layout*, com

variação de demanda, otimizando a capacidade existente, facilitando a substituição de máquinas ou grupos de máquinas, e que habilitasse o edifício industrial a produzir cabinas no conceito *lean*. Para isso optou-se pela distribuição de energia por barramentos, associada à malha de aterramento elétrico de solo.

Conclusão: a introdução do conceito de distribuição por barramentos simplificou o sistema de distribuição elétrica e por consequência o sistema de utilidades como um todo, disponibilizou capacidade no sistema, reduziu substancialmente as perdas, tornou mais segura as interligações. Adicionalmente, aplicou-se uma malha de aterramento elétrico no piso técnico, para eliminar as interferências de ondas elétricas no sistema de comando dos *AGV's* e dos robôs, dotando o edifício industrial de mais flexibilidade para implantação de processos automatizados.

MUDANÇA 15 – ano: 1998

Edifício industrial: montagem final

Necessidade da manufatura: adequação dos transportadores aéreos de cabinas devido ao lançamento de novos produtos

Ferramenta *lean*: *kaizen*

Sistema: movimentação

Sub-sistema: equipamentos e dispositivos

Elemento: transportadores

Aspecto da mudança: mudança interna

Solução anterior: transportador aéreo com *skids*¹³ tracionados por correntes (*Power and free*)

Solução construtiva adotada: redimensionamento do transportador aéreo

Solução construtiva flexível: transportador aéreo com *skids* móveis

Esse sistema de transportadores por corrente: *Power and free* (carrocel) no início foi concebido para conduzir as cabinas da área de montagem bruta de cabinas para a montagem final de veículos, ou conforme a demanda de montagem, enviar as cabinas ao trans-elevador e armazená-las até a solicitação para pintá-las ou utilizá-las na montagem de cabinas ou na montagem de veículos. O sistema basicamente era constituído por um perfil I fixado na estrutura de cobertura do edifício industrial, por todo o percurso do sistema, que sustentava o trilho da corrente tracionadora e o trilho de movimentação dos *skids* rígidos, sendo que a elevação ou descida das cabinas era feita por elevadores monta-carga em determinados pontos, tais como: saída da montagem bruta, entrada e saída da pintura, entrada e saída da

¹³ *Skid*., do inglês, espécie de veículo deslizante, conforme Cambridge Dictionary (1995), no texto é o estrado que sustenta e onde se fixam partes do produto ou o produto, deslizando pelos transportadores durante o processo de produção.

montagem de cabinas e de veículos. Naquela época a manufatura ainda não era *lean* e fabricava-se um único tipo de cabina em uma única cor (década de 1960). Em meados dos anos oitenta ocorre a primeira grande modificação no sistema, para receber a nova família de produtos, adaptando-o, redimensionando-o e reforçando as estruturas de fixação do mesmo em razão da maior carga requerida. No ano de 1998 esse sistema é novamente modificado para atender veículos pesados, e novamente a estrutura de sustentação é reforçada, chegando ao limite de sua capacidade. Essas modificações de reforço da estrutura, bem como da ampliação das portas e da capacidade dos elevadores foram modificações pontuais que somente solucionaram as dificuldades momentâneas, não preparando tanto o sistema de movimentação, quanto o edifício industrial para modificações futuras, que começaram a ocorrer com maior frequência, em razão das exigências do mercado.

Conclusão: O conceito da instalação demonstrou-se pouco flexível, pois a cada pequena modificação do produto, havia a necessidade de modificar o edifício industrial, e assim foi modificado até a exaustão. Os equipamentos atingiram a obsolescência por limite de capacidade. Uma mais solução flexível que se aplicaria seria o uso de *skids* móveis com comandos semi-automatizados, com possibilidade de movimentação ascendente e descendente das cabinas, para eliminação dos elevadores; a utilização de *skids* com tração individual a partir de moto redutores elétricos para eliminação correntes e das engrenagens *pivot* do conjunto de tração e mudança de direção do *Power and free*, para a redução do peso próprio do sistema com conseqüente alívio das estruturas da cobertura, onde o transportador aéreo está fixado; criando uma sobre-vida para o sistema, que poderia movimentar cargas maiores, ou seja cabinas maiores de novos produtos.

MUDANÇA 16 – ano: 2002

Edifício industrial: montagem final

Necessidade da manufatura: adequação dos transportadores aéreos de cabinas devido ao lançamento de novos produtos

Ferramenta *lean*: *kaizen*

Sistema: movimentação

Sub-sistema: equipamentos e dispositivos

Elemento: transportadores

Aspecto da mudança: obsolescência

Solução anterior: transportador aéreo com *skids* tracionados por correntes (*Power and free*)

Solução construtiva adotada: transportador aéreo híbrido

Solução construtiva mais flexível: transportador aéreo com *skids* independentes e motorizados

O transportador por correntes (*Power and free*), descrito na Mudança 15 atingiu a obsolescência, em razão do término da vida útil dos elementos de tracionamento e do lançamento de nova família de veículos. Para atender as necessidades da manufatura foram estudadas preliminarmente três alternativas: reformar o sistema existente, redimensionando-o para transportar os novos produtos; substituir o sistema existente por um novo *Power and free* com maior capacidade; substituir o sistema existente por um sistema de *skids EOM* (*Electronic Overhead Monorail*) que também é um transportador aéreo. A solução adotada foi um sistema híbrido, aproveitou-se a estrutura de sustentação do sistema existente, onde foram fixados os trilhos para movimentação dos *skids EOM*, equipados com talhas para elevação e descida de cargas, desativando-se assim, também, os elevadores fixos.

Conclusão: Com esse novo conceito de transportador foi adquirida pela manufatura uma redução do tempo *tact*, no equipamento. No entanto, a solução híbrida deu flexibilidade ao edifício industrial no que tange à eliminação dos elevadores, pois esse equipamento continua fixando-se na estrutura de cobertura do edifício, e sua ampliação ou redução ficam restritas a modificações convencionais de corte e reforço de estruturas. Como solução mais flexível sugere-se a mesma que foi sugerida para a Mudança 15 e fixada em pórticos independentes da estrutura do edifício industrial.