

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

MAYARA HOBOLD HEINEN

**PROPOSTA DE ARRANJO FÍSICO BASEADO NOS CONCEITOS DA
PRODUÇÃO ENXUTA PARA UMA FÁBRICA DE ESTRUTURAS
METÁLICAS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**Medianeira
2013**

MAYARA HOBOLD HEINEN

**PROPOSTA DE ARRANJO FÍSICO BASEADO NOS CONCEITOS DA
PRODUÇÃO ENXUTA PARA UMA FÁBRICA DE ESTRUTURAS
METÁLICAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Msc. Edson Hermenegildo Pereira Junior

**Medianeira
2013**

HEINEN, Mayara Hobold.

S121d Proposta de arranjo físico baseado nos conceitos da Produção Enxuta para uma fábrica de Estruturas Metálicas / Mayara Hobold Heinen. - Medianeira, PR. UTFPR, 2013.

XI, 00f. : il. ; 30 cm

Orientador: Msc. Edson Hermenegildo Pereira Junior

Monografia - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Bibliografia: f.

1. Layout. 2. Produção Enxuta. 3. SLP. I. Msc. Edson Hermenegildo Pereira Junior. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

CDU 576.72: 578

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

TERMO DE APROVAÇÃO

Proposta de arranjo físico baseado nos conceitos da Produção Enxuta para uma
Fábrica de Estruturas Metálicas

Por

MAYARA HOBOLD HEINEN

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado às 10h30min do dia 22 de Agosto de 2013, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho

.....

Prof. Msc. Edson Hermenegildo Pereira Junior
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Msc. Luciano da Costa Barzotto
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. José Airton Azevedo dos Santos
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dedico este trabalho à minha mãe,
pelo amor, dedicação e incentivo em
todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Foram muitas pessoas que fizeram parte desta fase da minha vida. Desculpo-me desde já se faltei com alguém nestas palavras, mas estejam certas que fazem parte da minha gratidão.

Primeiramente agradeço a Deus por guiar meus passos e me permitir a realizar este sonho. À minha família, pelo incentivo sempre. Sem eles não conseguiria vencer este desafio. Ao meu namorado, pela compreensão nos momentos ausentes. Ao meu professor orientador, pela paciência e disposição que me auxiliou. À direção e equipe da empresa onde foi realizado o estudo.

Enfim, a todos que de alguma forma colaboraram para a realização deste trabalho, meu sincero agradecimento.

“Acima de tudo, guarde o seu coração, pois dele depende toda a sua vida”.

Provérbios 4, 23.

HEINEN, Mayara Hobold. **Proposta de arranjo físico baseado nos conceitos da Produção Enxuta para uma fábrica de Estruturas Metálicas**. 2013. Monografia (Bacharel em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

RESUMO

Em uma fábrica de estruturas metálicas, a movimentação das peças é um fator que deve ser considerado, pois seus componentes possuem grandes dimensões e peso elevado. Dessa forma, o transporte desnecessário devido ao mau posicionamento dos equipamentos acarreta perdas como o aumento do tempo de produção, baixa produtividade, entre outras. Diante disso, o objetivo deste trabalho é desenvolver uma proposta de *layout* para uma nova unidade fabril de uma empresa de estruturas metálicas. A empresa teve um rápido crescimento nos últimos anos, necessitando de mais espaço. A nova unidade, porém, foi instalada sem um estudo de arranjo físico adequado. A proposta foi construída de acordo com a metodologia de construção de *layouts* chamada SLP (*Systematic Layout Planning*). Os dados necessários para a aplicação do sistema foram coletados através de um estudo de caso. Para avaliar as alternativas de arranjos e escolher o ideal, foram utilizados os conceitos da Produção Enxuta, já que o sistema visa à redução de perdas e é muito utilizado em fábricas que buscam um diferencial no mercado. Foram geradas três propostas de arranjos-físicos e comparadas com o arranjo atual. A partir dos resultados, o *layout* selecionado foi a proposta C, que além de diminuir cerca de 40% da movimentação atual, eliminou quatro dos sete desperdícios a serem evitados na Produção Enxuta.

Palavras-chave: *layout*; produção enxuta; SLP.

HEINEN, Mayara Hobold. **Proposta de arranjo físico baseado nos conceitos da Produção Enxuta para uma fábrica de Estruturas Metálicas**. 2013. Monografia (Bacharel em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

ABSTRACT

In a factory of steel structures, the movement of parts is a factor that must be considered, because its components have big size and high weight. Thus, unnecessary transport due to bad positioning of the equipments causes losses like increasing production time, low productivity, among others. The objective of this study is to develop a layout to a new plant of steel structures. The company had a quick growth in recent years and need more space. However, the new plant was installed without an appropriate study of facility layouts. The proposal has been built according to the methodology of building layouts called SLP (Systematic Layout Planning). The data required for the application of the system were collected through a case study. To evaluate the alternatives and choose the ideal layout were used the concepts of lean production, because the system is aimed at loss reduction and is often used in factories looking for a market differential. Were generated three proposed layouts and compared with the current layout. Based on the results, the selected layout was the proposal C, which besides decreasing about 40% of current transport, eliminated four of the seven wastes that should be avoid in the Lean Production.

Key-words: layout; lean production; SLP.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Margem de Lucro na Produção em Massa versus Produção Enxuta.....	22
Figura 2 – Pilares da Produção Enxuta.....	24
Figura 3 – Transporte excessivo ao longo da fábrica.....	28
Figura 4 – Desperdício de Estoques	29
Figura 5 – Arranjo físico por processo.....	33
Figura 6 – Arranjo físico por produto	36
Figura 7 – Arranjo físico de posição fixa	38
Figura 8 – Arranjo físico celular.....	40
Figura 9 – Arranjo físico misto.....	41
Figura 10 – Modelo de procedimentos do SLP	46
Figura 11 – Carta “De-Para”	47
Figura 12 – Diagrama de relacionamento	47
Figura 13 – Carta de Inter-Ligações Preferenciais	48
Figura 14 – Diagrama de Inter-Relações	49
Figura 15 – Diagrama de relacionamento e espaço.....	50
Figura 16 – Concessionária em Foz do Iguaçu – PR – 3.110,00 m ²	55
Figura 17 – Armazém Granelero – 6.300,00 m ²	55
Figura 18 – Ginásio de esportes – 4.600,00 m ²	56
Figura 19 – Aeroporto de Recife	58
Figura 20 – Esquema dos produtos fabricados.....	59
Figura 21 – Esquema da localização na estrutura dos produtos fabricados	60
Figura 22 – <i>Layout</i> atual.....	61
Figura 23 – Bases	64
Figura 24 – Fluxograma de produção das bases	65
Figura 25 – Plasma	65
Figura 26 – Fluxograma de produção dos pilares	67
Figura 27 – Fluxograma de produção das tesouras	67
Figura 28 – Corte Serra.....	68
Figura 29 – Ponteamto	68
Figura 30 – Solda	69
Figura 31 – Pintura.....	70
Figura 32 – Estoque de produtos acabados.....	70
Figura 33 – Expedição	71
Figura 34 – Fluxograma de produção dos contraventamentos	72

Figura 35 – Fluxograma de produção dos alinhadores	72
Figura 36 – Tarracha.....	73
Figura 37 – Fluxograma de produção das agulhas	73
Figura 38 – Fluxograma de produção das terças	74
Figura 39 – Prensa.....	75
Figura 40 – Furação nas terças.....	75
Figura 41 – Carta de inter-relações preferenciais	77
Figura 42 – Diagrama de inter-relações	78
Figura 43 – Diagrama de inter-relações de espaço.....	80
Figura 44 – <i>Layout A</i>	83
Figura 45 – <i>Layout B</i>	84
Figura 46 – <i>Layout C</i>	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Setores da fabricação.....	60
Tabela 2 – Tempo de fabricação dos produtos	76
Tabela 3 – Espaço necessário para cada atividade	79
Tabela 4 – Distâncias físicas percorridas pelos produtos	86
Tabela 5 – Avaliação do <i>layout</i>	87

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA	15
1.2 OBJETIVO GERAL	16
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
1.4 JUSTIFICATIVA.....	16
1.5 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO	17
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2 REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1 A EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO	19
2.2 O SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO	23
2.2.1 Componentes do STP.....	24
2.2.2 Princípios da Produção Enxuta.....	26
2.2.3 Sete Classes de Perdas	26
2.3 ARRANJO FÍSICO.....	29
2.3.1 Objetivos do Arranjo Físico.....	30
2.3.2 Formas Tradicionais de Arranjo Físico	31
2.3.2.1 Arranjo físico funcional	31
2.3.2.2 Arranjo físico por produto	34
2.3.2.3 Arranjo físico posicional.....	37
2.3.2.4 Arranjo físico celular	38
2.3.2.5 Arranjo físico misto	41
2.4 O STP E O <i>LAYOUT</i> INDUSTRIAL	42
2.5 MODELO DE CONSTRUÇÃO DE <i>LAYOUT</i> : SLP	44
3 METODOLOGIA.....	52
4 ESTUDO DE CASO.....	55
4.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA ESTUDADA.....	55
4.1.1 Características do Setor	56
4.1.2 Produtos Fabricados.....	59
4.1.3 Arranjo Físico Atual	60
4.1.4 Análise da Situação Atual	62
4.2 APLICAÇÃO DO SLP	62
4.2.1 Dados de Entrada.....	63
4.2.1.1 Produto (P)	63
4.2.1.2 Quantidade (Q).....	63

4.2.1.3 Roteiro (R)	63
4.2.1.3.1 Bases	64
4.2.1.3.2 Pilares e tesouras.....	66
4.2.1.3.3 Contraventamento e alinhadores.....	71
4.2.1.3.4 Agulhas	73
4.2.1.3.5 Terças	74
4.2.1.4 Serviços de suporte (S)	76
4.2.1.5 Tempo (T).....	76
4.2.2 Fluxo de Materiais	76
4.2.3 Inter-Relações de Atividades	77
4.2.4 Diagrama de Inter-Relações	78
4.2.5 Espaço Necessário x Espaço Disponível.....	79
4.2.6 Diagrama de Inter-Relações de Espaços	80
4.2.7 Considerações de Mudanças	81
4.2.8 Limitações Práticas.....	81
4.2.9 Alternativas Propostas.....	82
4.2.10 Avaliação das Alternativas.....	86
5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	88
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	90
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA

Muitos estudiosos consideram a indústria da Construção Civil atrasada, pois quando comparada a outros ramos industriais apresenta baixa produtividade, grande desperdício de materiais, morosidade e baixo controle de qualidade (BRUMATTI, 2008). A falta ou imprevisto de planejamento e gerenciamento geram essas perdas, que podem ser evitadas substituindo práticas rotineiras e convencionais de produção por processos sistemáticos (OYAMA, MOTA, 2010).

Para as empresas que querem enfrentar melhor o mercado em constante mudança, a Produção Enxuta (ou STP - Sistema Toyota de Produção) é o sistema ideal (SARCINELLI, 2008), pois, além de ser um sistema de produção muito mais eficiente, flexível, ágil e inovador do que a produção em massa busca primordialmente a eliminação de perdas e a redução de custos (SHINGO, 2008).

Segundo Silva (2009), reorganizar os recursos produtivos é uma das peças-chaves para a concepção e implantação da Produção Enxuta. O fluxo de materiais deve ser suave, pois longas rotas de processos na fábrica favorecem atrasos e geração de estoques e não agregam valor aos produtos, além de reduzir a velocidade de atravessamento dos produtos (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009).

A disposição física dos recursos produtivos chama-se arranjo físico ou *layout* (PISKE, 2008). Muitas empresas utilizam arranjos físicos inadequados, acarretando em perdas consideráveis como o aumento do estoque, movimentação excessiva de funcionários e produtos, aumento do *lead time*, etc., além da dificuldade de gerenciamento do fluxo produtivo (SILVA, 2009).

Neste cenário, este trabalho visa desenvolver um modelo de arranjo físico baseado nos princípios da Produção Enxuta, que seja adequado às necessidades de uma indústria de Estruturas Metálicas, servindo como ferramenta de apoio ao planejamento e tomada de decisões do processo produtivo. Além de evidenciar a importância do arranjo físico contra os desperdícios da produção.

1.2 OBJETIVO GERAL

Desenvolver uma proposta de *layout* produtivo de uma fábrica de estruturas metálicas, baseado nos conceitos da Produção Enxuta.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar o atual arranjo físico da fábrica em estudo;
- Estudar os fluxos do processo produtivo da fábrica em estudo;
- Aplicar a metodologia SLP na fábrica e verificar sua confiabilidade;
- Verificar quais desperdícios combatidos pela Produção Enxuta se relacionam com o arranjo físico;

1.4 JUSTIFICATIVA

Segundo Maximiano (2004), o arranjo físico é uma ferramenta estratégica utilizada para se atingir a eficiência desejada. Um bom arranjo físico pode beneficiar todos os setores de uma organização, pois determina a forma, aparência e a maneira como materiais, informações e clientes fluem através da operação. A decisão do arranjo físico é importante, pois se estiver errado pode causar fluxos longos e confusos, fluxos imprevisíveis, longos tempos de processos, filas de clientes, operações inflexíveis e altos custos (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009).

Aliado aos princípios da Produção Enxuta, que visa primordialmente reduzir perdas e custos, o planejamento do arranjo físico representa vantagens competitivas no mercado, através da redução de desperdícios e da maior facilidade de planejamento e controle da produção, sendo fundamental para empresas que buscam excelência no processo de fabricação.

As estruturas metálicas são compostas de elementos com grandes

dimensões que possuem peso relativamente alto. Portanto, o transporte das peças dentro de um processo produtivo é um fator que influencia o tempo de produção e consequentemente a produtividade da empresa.

A fábrica em estudo teve um rápido crescimento nos últimos anos, sendo necessário a aquisição de um novo espaço físico para suas instalações. Este conta com cerca de 2.200,00 m². Porém, não houve um estudo de *layout* produtivo para a localização dos equipamentos. Visando reduzir movimentações desnecessárias e, consequentemente, aumentar a produtividade, o estudo de um arranjo físico tornou-se necessário na fábrica em estudo.

1.5 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

As delimitações do trabalho serão brevemente relatadas a seguir:

- O STP, na revisão de literatura, não será analisado de forma completa, visto que seus conceitos são amplos e abrangentes. Diante disso, apenas os conceitos pertinentes ao desenvolvimento do Arranjo Físico serão abordados.
- O trabalho limita-se apenas a estudar a produção, sem ser abordados fatores como ambiente sociocultural, empresário-governamental, concorrencial e organizacional que também são fatores importantes na aplicação do STP.
- O arranjo físico desenvolvido é apenas uma proposta para a empresa em questão, portanto não será aplicado.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

No primeiro capítulo consta uma breve apresentação do tema, os objetivos gerais e específicos, a justificativa do tema escolhido, as delimitações e estrutura do trabalho.

O segundo capítulo apresenta a fundamentação teórica, com informações bibliográficas necessárias para o entendimento e contextualização do trabalho, para

dar base teórica e científica à pesquisa. O capítulo aborda sobre Produção Enxuta e sobre o Arranjo físico, e os dados pertinentes a cada assunto.

O terceiro capítulo apresenta a classificação da pesquisa, ou seja, a metodologia que foi aplicada no trabalho.

O quarto capítulo contempla as propostas sugeridas do novo *layout* da fábrica de acordo com a metodologia SLP, bem como a escolhida. O capítulo também apresenta dados sobre a empresa, suas características, sistema produtivo, dados do setor, etc.

O quinto capítulo são comentados os resultados obtidos com o desenvolvimento do trabalho. O sexto e último capítulo apresenta algumas considerações finais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO

Segundo Martins e Laugeni (2003,), a função produção, entendida como o conjunto de atividades que levam à transformação de um bem tangível em outro com maior utilidade, acompanha o homem desde sua origem, quando polia pedra a fim de transformá-la em utensílio mais eficaz.

Peinado e Graeml (2007) relatam que as atividades da administração da produção remontam à origem do ser humano desde as primeiras atividades de produção extrativista e as plantações e criação de animais, já exigiam algum esforço no sentido produtivo.

Moreira (2009, p. 4) ressalta que “encontraríamos traços comuns entre o que se faz hoje, nas modernas organizações, com a coleta de alimentos do homem pré-histórico, passando pela caça, agricultura, pastoreio etc.”.

Em relação à administração da produção, Corrêa e Corrêa (2009) destacam que as origens mais primárias são difíceis rastrear, já que sempre houve organizações gerando e entregando pacotes de valor a clientes. Porém, segundo Wilson (1995 *apud* Corrêa & Corrêa, 2009), as grandes obras da humanidade provavelmente são os primeiros tipos de processo produtivo a requerer técnicas gerenciais para suas operações, como a Grande Muralha da China, as Pirâmides do Egito e as grandes Catedrais.

A primeira forma de produção organizada, de acordo com Martins e Laugeni (2003), foram os artesões, já que estes estabeleciam prazos de entrega, atendiam especificações preestabelecidas e fixavam preços para suas encomendas.

O declínio da produção artesanal começou a entrar em declínio devido à Revolução Industrial, pois “com a descoberta da máquina a vapor em 1764 por James Watt, tem início o processo de substituição da força humana pela força da máquina” (MARTINS e LAUGENI, 2003, p. 2).

Para Gomes (2005) foi a Revolução Industrial, ocorrida no final do século XVIII até o século XIX, chegando ao limiar do século XX, que provocou o

aparecimento da empresa e da moderna administração.

A Revolução marca o início da produção industrial moderna, a utilização intensiva de máquinas, a criação de fábricas, os movimentos de trabalhadores contra as condições desumanas de trabalho, as transformações urbanas e rurais, enfim o começo de uma nova etapa na civilização (MOREIRA, 2009, p. 4).

Vieira (2011) explica que entre os princípios básicos da Revolução Industrial está a produção em série, em grande quantidade, para um consumidor não conhecido.

De acordo com Campos (2009), durante a Segunda Revolução Industrial houve a introdução de outras tecnologias para otimizar a produção de energia sem ser a vapor - a eletricidade e o petróleo, possibilitando o desenvolvimento de máquinas e ferramentas com maior produtividade.

Para Corrêa e Corrêa (2009), em torno de 1901 as fábricas estavam dedicadas a grandes volumes de produção e estabeleciam-se como unidades produtivas eficientes e gerenciáveis.

Neste ambiente, surge Frederick W. Taylor com o desenvolvimento de técnicas efetivas visando sistematizar o estudo e a análise do trabalho. Considerado como pai da administração científica, Taylor sistematiza o conceito de produtividade, ou seja, a procura incessante por melhores métodos de trabalho e processos de produção, com o objetivo de se obter melhoria da produtividade com o menor custo possível (MARTINS E LAUGENI, 2003).

Taylor preconizava a prática da divisão do trabalho, enfatizando tempos e métodos a fim de assegurar seus objetivos "de máxima produção a mínimo custo", seguindo os princípios da seleção científica do trabalhador, do tempo padrão, do trabalho em conjunto, da supervisão e da ênfase na eficiência (GOMES, 2005, p. 3).

Segundo Soares (2003), para Taylor era necessária a formação de uma camada de gestores responsáveis pelas funções de planejamento e controle, e, para isso, deveria ocorrer uma clara divisão entre as tarefas de planejamento e controle e das tarefas de execução da produção.

De acordo com Gomes (2005), paralelamente aos estudos de Taylor, Henri Fayol que era francês, defendia princípios semelhantes na Europa, porém, enquanto Taylor estudava a empresa privilegiando as tarefas de produção, enfatizando a

adoção de métodos racionais e padronizados e a máxima divisão de tarefas, Fayol a estudava privilegiando as tarefas da organização, enfatizando a estrutura formal de empresa e a adoção de princípios administrativos pelos altos escalões.

Surge então, Henry Ford, criando o conceito de produção em massa. De acordo com Moreira (2009), a produção em massa pode ser encontrada já em 1913, quando começou a linha de montagem dos automóveis Ford. “A chave para a produção em massa não era a linha de montagem, mas a completa e consistente intercambialidade das peças e sua facilidade de ajuste entre si” (WOMACK et al., 1992, *apud* SOARES, 2003, p. 24).

Henry Ford cria a linha de montagem seriada, revolucionando os métodos e processos produtivos até então existentes. Surge o conceito de produção em massa, caracterizada por grandes volumes de produtos extremamente padronizados, isto é, baixíssima variação nos tipos de produtos finais. Essa busca da melhoria da produtividade por meio de novas técnicas definiu o que se denominou engenharia industrial (MARTINS e LAUGENI, 2003, p. 2).

Santos (2003) acredita que com o advento da administração científica de Taylor e da linha de produção de Ford, houve melhorias na produtividade industrial, devido principalmente à especialização do trabalho e à padronização dos produtos e peças. Isto foi conseguido porque a demanda do mercado era superior à produção e, assim os produtos padronizados e similares encontravam consumidores receptivos àqueles itens.

Entretanto, “o conceito de produção em massa e as técnicas produtivas dele decorrentes predominaram nas fábricas até meados da década de 60, quando surgiram novas técnicas produtivas, que vieram a caracterizar a denominada produção enxuta” (MARTINS e LAUGENI, 2003). Segundo Muller (1996, p. 23), “a passagem da produção em massa para a produção flexível deu-se a partir do desaparecimento de um crescimento estável da demanda, a qual se tornou instável, diversificada e dotada de muita incerteza”.

O Sistema Toyota de Produção, atualmente denominado Produção Enxuta, teve início quando o Japão perdeu a guerra em 1945 e, devido às características do mercado interno japonês, a empresa automobilística *Toyota* sentiu a necessidade de reestruturar seu modelo de produção, fundamentado basicamente em um princípio: eliminar desperdícios (CORRÊA e CORRÊA, 2007).

Desta forma, “a *Toyota* apostou na redução de custos de suas operações

com o intuito de aumentar sua margem de lucro por meio da redução de atividades que não agregam valor e não pelo aumento dos preços, prática incomum na época”, o que está representado na figura 1 (PISKE, 2008, p.18).

Em função do novo modelo de produção, a Toyota despontou como uma das principais montadoras de automóveis do mercado. O sistema de produção enxuto levou não somente a Toyota, mas diversas outras empresas japonesas a um período de grande crescimento econômico (ANTUNES, 1998, *apud* DIEDRICH, 2002).

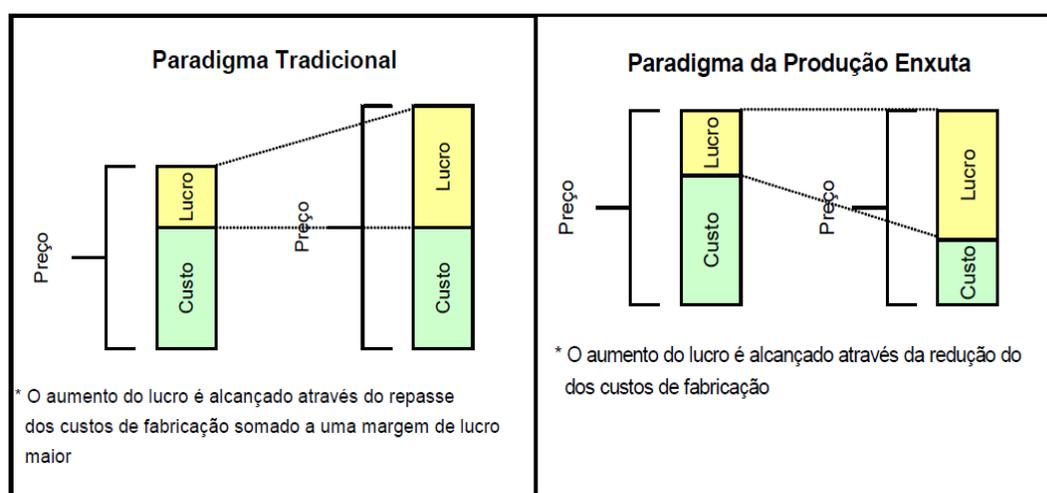


Figura 1 – Margem de Lucro na Produção em Massa versus Produção Enxuta
 Fonte: Adaptado de Almeida (2006) *apud* Piske (2008).

De acordo com Santos (2003), a partir do início da década de 1970 se observava uma desaceleração do crescimento econômico no Ocidente. Porém, as empresas japonesas apresentavam elevadas performances, principalmente as pertencentes ao setor automobilístico, devido à utilização de novos conceitos de produção que se desenvolveram neste setor do Japão desde o final da segunda guerra mundial. Para Corrêa e Corrêa (2009, p. 35), atribui-se à Taiichi Ohno e Shigeo Shingo, fundadores do STP, “parcela considerável de contribuição ao milagre industrial japonês, que levou o Japão a deixar de ser em 1945 um país arrasado por uma guerra da qual saiu derrotado para tornar-se uma das maiores potências industriais do mundo, apenas três décadas depois”.

Segundo Krafcik (1988, *apud* Silva, 2009), embora os conceitos do sistema enxuto tenham sido desenvolvidos no contexto da Toyota, eles podem ser implantados com sucesso em qualquer empresa do mundo.

2.2 O SISTEMA TOYOTA DE PRODUÇÃO

“*Just in Time (JIT), Lean Manufacturing, Lean Production, STP* ou Produção Enxuta são termos equivalentes utilizados para se nomear a lógica de se gerenciar, planejar e controlar a produção, desenvolvida originalmente pela *Toyota Motor Company*” (PISKE, 2008, p.17).

Diante da necessidade de produzir pequenas quantidades de numerosos modelos de produtos, Taiichi Ohno e Shingeo Shingo trabalharam para desenvolver na indústria japonesa *Toyota Motor Company* uma nova concepção de sistema de produção. Ohno estudou os sistemas de produção norte-americanos, adaptou seus conceitos para a realidade japonesa da época, caracterizada pela escassez de recursos materiais, financeiros, humanos e de espaço físico. Aplicou novas abordagens para a produção industrial, o que acabou consolidando na prática o chamado Sistema Toyota de Produção (CORIAT, 1994, *apud* HIROTA e FORMOSO, 2000).

Para Sarcinelli (2008, p. 18), o Sistema Toyota de Produção tem sido mais recentemente, referenciado como “Sistema de Produção Enxuta” (do original em inglês “*lean*”), para definir um sistema de produção muito mais eficiente, flexível, ágil e inovador do que a produção em massa; um sistema habilitado a enfrentar melhor um mercado em constante mudança.

O termo Enxuto foi surgiu devido à utilização de menores quantidades de tudo em comparação com a produção em massa: metade do espaço para a fabricação, metade do esforço dos operários, metade do investimento em ferramentas, metade das horas de planejamento para desenvolver novos produtos em metade do tempo, metade dos estoques no local de fabricação, além de resultar em menos defeitos (WOMACK, JONES e ROSS, 1992, *apud* LORENZON, 2008).

A mentalidade enxuta pode aumentar a produtividade e ao mesmo tempo reduzir erros, estoques, acidentes de trabalho, necessidades de espaço, tempo para lançamento de produtos no mercado, tempo da produção até o custo de variedades adicionais do produto e os custos em geral (WOMACK e JONES, 2004).

Para Shingo (2008) o objetivo principal do STP consiste na eliminação das perdas e na redução dos custos, sendo que os estoques são eliminados através do

tratamento e da superação das condições ocultas que causam essas perdas. Perdas são tudo que não adicionam valor ao produto (MODERN, 1984, *apud* SILVA, 2006).

Podem ser consideradas atividades que agregam todo esforço que produz valor aos olhos do cliente, exemplo: estampagem, pintura, etc. Já as atividades que não agregam valor são os esforços que não produzem benefícios, exemplo: movimentação de peças, retrabalho, contagem, estocagem, etc. Há também as atividades que não agregam valor ao produto, porém são necessárias como carregamento de uma maquina, processamento da ordem de produção, etc. (STANDARD E DAVIS, 1999, *apud* SILVA, 2009).

Para Liker e Méier (2007), além de consumirem recursos como material, equipamento e mão-de-obra, as perdas causam um desestímulo nos operários, pois como as mesmas ocultam os problemas, os operários não são motivados a resolvê-las, criando pessoas que não se acostumam a pensar.

2.2.1 Componentes do STP

Segundo Ohno (1988, *apud* Silva, 2009), o Sistema Toyota da Produção está apoiado em dois pontos principais, o *Just in time* e a Autonomia (ou *Jidoka*). O *Just in time* significa que as peças em um processo produtivo precisam chegar na linha de montagem somente no tempo certo e na quantidade necessária. A autonomia (automação com toque humano) condiz com o poder que o funcionário possui para tomar decisões, inclusive de parar a linha de produção em casos de problemas.

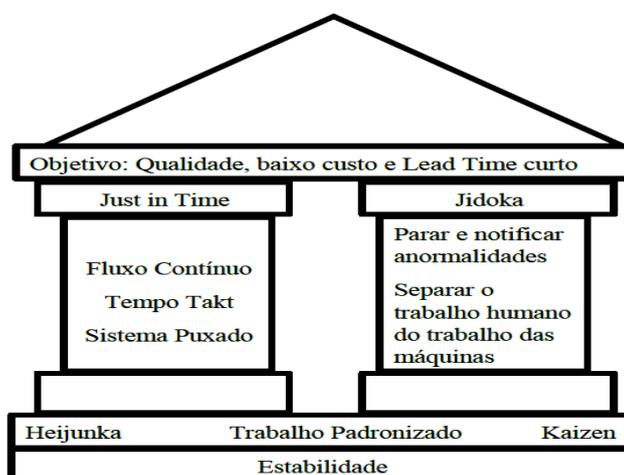


Figura 2 – Pilares da Produção Enxuta
Fonte: Silva (2009)

Os demais componentes do STP são descritos a seguir, de acordo com Ghinato in Almeida e Souza (2000, *apud* LUZZI, 2004).

- Fluxo contínuo: eliminação das interrupções no fluxo, através da eliminação das perdas no processo de fabricação. É obtido através do rearranjo do *layout* de forma que o fluxo de materiais tenha a mesma sequência do fluxo de processo.
- Tempo *takt*: é o tempo necessário para se produzir um produto de acordo com a demanda, ou seja, significa produzir no mesmo ritmo da demanda do mercado.
- Sistema Puxado: produzir somente o que o processo subsequente consumir. A informação do produto flui de processo em processo, sem sentido contrário ao fluxo de materiais.
- Separação homem/máquina: é a base da autonomia, na qual o operador é liberado para operar mais de uma máquina, pois a máquina tem autonomia de parar caso alguma anormalidade seja detectada. Significa separar as funções executadas pela máquina e pelo operador, aumentando assim a produtividade/homem.
- Parar e notificar anormalidades (*Poka-Yoke*): dispositivos de detecção de anormalidades que impedem a execução irregular de uma atividade.
- *Heijunka*: É a programação de uma sequência de montagem que atende uma demanda por diferentes produtos. Significa o nivelamento da produção em termos de volume e variedade dos produtos.
- *Kaizen*: melhoria contínua de uma atividade focada na eliminação das perdas, agregando mais valor ao produto com um mínimo de investimento.
- Trabalho padronizado: procura estabilizar o processo para que as perdas possam ser identificadas, e as ações de melhoria possam ser planejadas.

Assim, a figura 2 concebe a ideia que “a mentalidade enxuta requer menores lead times para entregar produtos e serviços com elevada qualidade e baixos custos, através da melhoria do fluxo produtivo, por meio da eliminação dos desperdícios no fluxo de valor” (WOMACK e JONES, 1998, *apud* PAÇO, 2006).

2.2.2 Princípios da Produção Enxuta

Com o objetivo de tornar as empresas mais flexíveis e capazes de responder às necessidades dos clientes, a Produção Enxuta pode ser resumida em cinco princípios básicos, segundo Womack e Jones (2004).

1. *Valor*: o ponto de partida do pensamento enxuto é o valor, é definido pelo cliente, cabendo às empresas determinarem qual é a necessidade que gera valor para o cliente, procurando cobrar um preço específico para manter a empresa no negócio, aumentando o lucro e reduzindo o custo.

2. *Cadeia de Valor*: as empresas devem olhar para todo o processo produtivo, separando os processos em três tipos: os que geram valor, os que não geram valor, mas são importantes para a manutenção da qualidade e por fim os que não geram valor devendo ser evitados imediatamente.

3. *Fluxo*: o produto deve passar para as etapas seguintes sem estoques intermediários ou itens semi-acabados. Isso exige uma mudança de mentalidade. O objetivo é reduzir as atividades que não agregam valor.

4. *Produção Puxada*: o processo inicial não deve produzir um bem ou serviço sem que o cliente de um processo posterior o solicite. Assim, a empresa deve puxar o pedido através do cliente ao invés de produzir conforme a sua capacidade.

5. *Perfeição*: fazerem os quatro princípios anteriores interagirem em um círculo na eliminação dos desperdícios.

2.2.3 Sete Classes de Perdas

No que diz respeito às perdas, a Toyota chegou à conclusão que poderia eliminar ou reduzir o prejuízo das atividades que não agregavam valor, sem, no entanto diminuir o valor agregado dos seus produtos (PISKE, 2008). Com relação a estes desperdícios que não geravam valor, Ohno (1997, *apud* LORENZON, 2008), identificou sete tipos de perdas que deveriam ser combatidas para que o Sistema Toyota de Produção conseguisse atingir seus objetivos:

1. Perdas por Superprodução: podem ser divididas em perdas quantitativas e perdas antecipadas. A perda por superprodução quantitativa é a perda por produzir além do volume programado. A perda por superprodução antecipada é a perda decorrente de uma produção realizada antes do momento necessário.

Para Hines et al. (2000, *apud* SILVA, 2009), “a superprodução é reconhecido como o mais sério desperdício que atrapalha a implantação de um fluxo suave de produtos e serviços e inibe também a qualidade e a produtividade. A superprodução tende a levar a um *lead time* e estoques elevados”.

2. Perda por espera: o desperdício com o tempo de espera decorre de um intervalo de tempo no qual nenhum processamento, transporte ou inspeção é executado. Acarretam em um fluxo pobre e *lead times* longos. Podem ser de dois tipos

- a. Esperas de processo: referem-se quando lotes permanecem esperando liberação, enquanto o lote precedente é processado, inspecionado ou transportado;
- b. Esperas de lotes: quando componentes de um lote esperam até que o processamento de todo o lote seja concluído.

3. Perda por transporte: todo tipo de transporte caracteriza desperdício, portanto sua otimização é sua eliminação total.

Segundo Silva (2009), o transporte excessivo é fruto direto da inadequação do *layout*, resultando em desperdícios de capital, tempo e energia. O autor caracteriza a movimentação de peças e produtos na figura 3.

4. Perda do processamento em si: consiste nas atividades de processamento que são desnecessárias para que o produto ou serviço adquira características desejadas ou especificadas pelo cliente.

5. Perda por fabricação de produtos defeituosos: consiste na produção peças, subcomponentes e produtos acabados que não atendem as especificações de qualidade requeridas pelo projeto. Para Corrêa e Corrêa (2009), os maiores desperdícios do processo são gerados por problemas de qualidade, pois produzir produtos defeituosos significa desperdiçar materiais, mão-de-obra, disponibilidade de equipamentos, movimentação, etc.

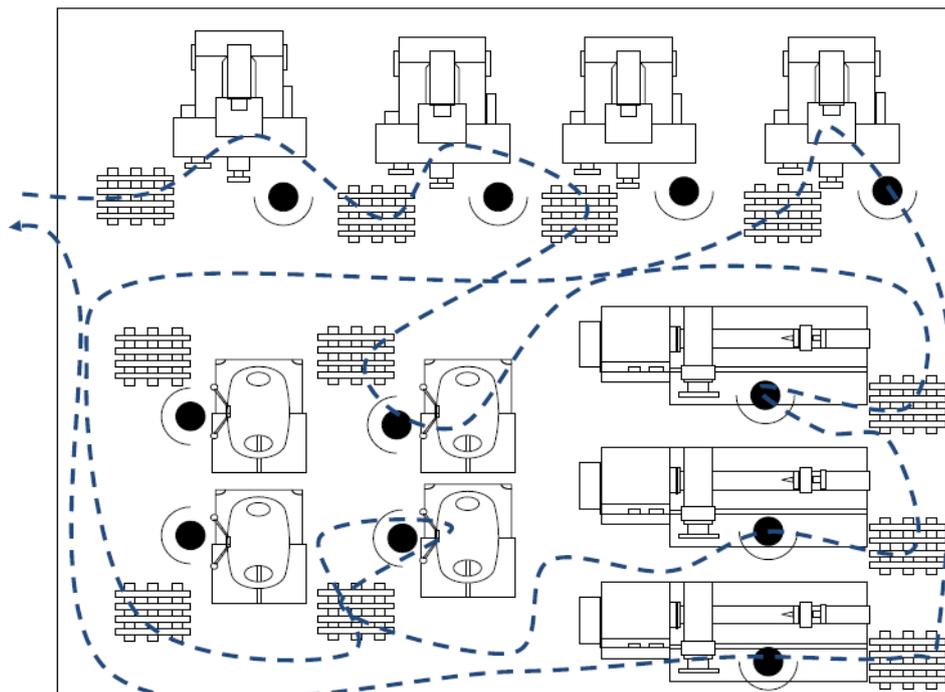


Figura 3 – Transporte excessivo ao longo da fábrica
Fonte: Silva (2009)

6. Perdas por Movimentação: consiste na movimentação desnecessária dos operadores na execução de uma operação. Este desperdício, segundo Silva (2009), “reporta-se à inadequação dos postos de trabalho, má localização de ferramentas e dispositivos utilizados pelo operador, que geram a necessidade de realizar movimentos, por parte do operador, muito inadequados”, tendo impacto direto na produtividade do operador.

7. Perdas por estoque: consiste na manutenção de estoques de matérias-primas, material em processamento e produtos acabados. Rico (2007) comenta que estoque gera um maior custo operacional, necessidade de mais espaço, exigindo equipamentos adicionais e baixo desempenho do serviço prestado ao cliente. Silva (2009) comenta que o *layout* influencia na formação de estoques, pois, quando os equipamentos estão muito distantes, existe uma disposição em se produzir em grandes lotes, aumentando o estoque em processo, devido a inviabilidade de um transporte peça a peça. As formas de estoques que podem existir estão exemplificadas na figura 4.

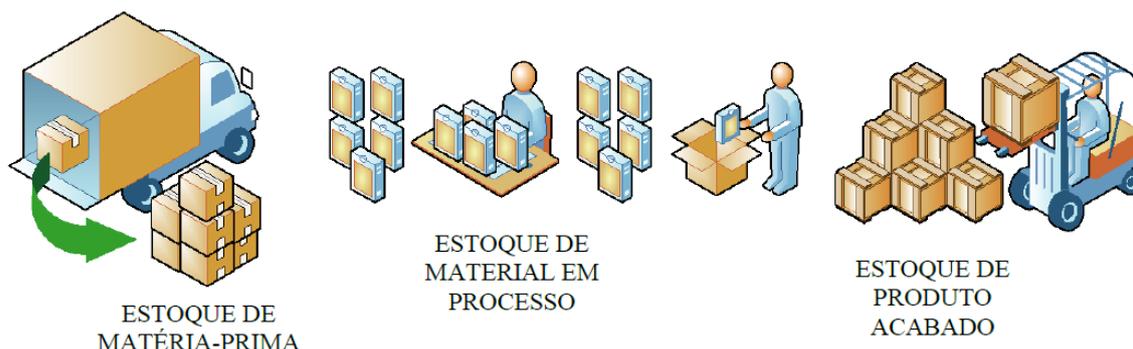


Figura 4 – Desperdício de Estoques
Fonte: Silva (2009)

2.3 ARRANJO FÍSICO

Layout, leiaute ou arranjo físico é a disposição de equipamentos em uma determinada área, visando o equilíbrio entre movimentação, produção e ambientação. Está presente em todos os ambientes, mesmo em desacordo com o ideal, e possui específica aplicação em indústrias, lojas, escritórios, bancos, entre outros (ANTON, EIDELWEIN E DIEDRICH, 2012).

Para Slack, Chambers e Johnston (2009) o *layout* ou arranjo físico consiste no posicionamento das instalações, máquinas, equipamentos e pessoal da operação, em uma operação produtiva, determinando o fluxo dos materiais, informações e clientes. Portanto, a decisão do arranjo físico é importante, pois se estiver errado pode causar fluxos longos e confusos, fluxos imprevisíveis, longos tempos de processos, filas de clientes, operações inflexíveis e altos custos.

Moura define arranjo físico como “planejamento e integração dos meios que concorrem para a produção obter a mais eficiência e econômica inter-relação entre máquinas, mão-de-obra e movimentação de materiais dentro de um espaço disponível” (MOURA, 2009, p.118).

Decisões sobre o arranjo físico não são tomadas apenas para o projeto de uma nova instalação, mas sempre que o mesmo interferir no desempenho da operação, ou seja, sempre que: for acrescentado ou retirado um novo recurso “consumidor de espaço” ou quando se decide pela modificação de sua localização; ocorrer mudança relevante de procedimentos ou de fluxos físicos; houver uma expansão ou redução de área da instalação; ocorrer uma mudança substancial na

estratégia competitiva da operação; ocorrer uma mudança dos *mix* relativos de produtos que afetam os fluxos (CORRÊA e CORRÊA, 2009).

Um bom arranjo físico deverá, acima de tudo, apoiar a estratégia competitiva da operação. Portanto, não há um arranjo físico que permite um excelente desempenho simultaneamente de toda a operação, porém é capaz de afetar os níveis de eficiência e eficácia das operações (CORRÊA e CORRÊA, 2009).

Sendo assim, o arranjo físico é uma maneira de melhorar os processos, que pode afetar as prioridades competitivas de uma organização de diferentes maneiras: aumentando a satisfação do cliente e as vendas; facilitando o fluxo de materiais e informações; reduzindo riscos para os trabalhadores; melhorando a comunicação; aumentando o animo dos funcionários; aumentando a utilização eficiente de trabalho e equipamento (KRAJEWSKI, RITZMAN e MALHOTRA, 2010).

2.3.1 Objetivos do Arranjo Físico

De acordo com Slack, Chambers e Johnston (2009), entre os objetivos do arranjo físico, destacam-se:

- Segurança inerente: os processos que representam perigo tanto para os clientes quanto para a mão-de-obra devem ter acesso restrito ao pessoal autorizado. As saídas de emergência devem ser claramente sinalizadas e as circulações devem ser definidas e desimpedidas.
- Extensão do fluxo: o arranjo físico deve canalizar o fluxo de informações, materiais ou clientes, atendendo aos objetivos da operação. Em muitos casos, isto implica em reduzir as distâncias percorridas pelos recursos transformados.
- Clareza de fluxo: todo o fluxo deve ser claramente sinalizado para funcionários e clientes.
- Conforto para os funcionários: o arranjo físico deve oferecer aos funcionários um ambiente de trabalho ventilado, bem iluminado e quando possível, agradável, longe das partes barulhentas ou desagradáveis da operação.
- Coordenação gerencial: supervisão e comunicação devem ser facilitadas pela localização dos funcionários e dispositivos de comunicação.

- **Acessibilidade:** as máquinas, instalações e equipamentos devem apresentar um nível de acessibilidade suficiente para limpeza e manutenção adequadas.
- **Uso do espaço:** Os arranjos físicos devem tolerar uso adequado de espaço disponível da operação (incluindo altura e área de chão).
- **Flexibilidade de longo prazo:** À medida que houver mudanças na operação, os arranjos físicos devem ser alterados. Portanto, um bom arranjo físico deve prever necessidades futuras, como aumento da demanda, etc.

2.3.2 Formas Tradicionais de Arranjo Físico

Arranjo físico é a manifestação física de um tipo de processo, se relacionando então com os tipos de processo. Este é ditado pela característica de volume-variedade da operação. Frequentemente, há superposição entre tipos de processo. Nestes casos em que mais de um tipo de processo é possível, quanto mais importante for o objetivo custo para a operação, mais o processo será voltado para alto volume e baixa variedade (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009).

Existem basicamente três tipos básicos de arranjo físico, que possuem características e potenciais bastante específicos que contribuem para alavancar o desempenho, são os chamados arranjos clássicos: funcional, por produto e posicional. Há também outros tipos de arranjo físico, chamados de híbridos, que aliam características de dois ou mais arranjos clássicos. O mais usual deles é o arranjo celular (CORRÊA e CORRÊA, 2009).

“A decisão sobre qual arranjo específico escolher é influenciada por um entendimento correto das vantagens e desvantagens de cada um” (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009, p.193).

2.3.2.1 Arranjo físico funcional

O Arranjo Físico Funcional é também conhecido por Arranjo Físico por

Processo. O objetivo deste arranjo é agrupar recursos com função ou processo similar (CORRÊA e CORRÊA, 2009). O motivo para isso é que pode ser conveniente para a operação mantê-los juntos, de forma que produtos, informações e clientes poderão percorrer pelas atividades de acordo com suas necessidades (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009).

Este tipo de *layout* é comum quando a operação precisa atender a muitos tipos diferentes de clientes ou fabricar muitos produtos ou peças distintas, sendo os níveis de demanda baixos e imprevisíveis. As vantagens incluem a sequencia linear, recursos de proposito geral e menos capitais intensivos, mais flexibilidade para mudanças, supervisão mais especializada (quando for necessário), entre outras (KRAJEWSKI, RITZMAN e MALHOTRA, 2010).

Porém, os fluxos se cruzam quando começam a ficarem mais intensos, piorando a eficiência e aumentando o tempo de atravessamento dos fluxos. Este é um problema do arranjo físico funcional, visto que privilegia a flexibilidade dos fluxos à custa de longas distâncias desnecessárias (CORRÊA e CORRÊA, 2009). Diante disto, um desafio ao projetar o layout funcional é “localizar centros de forma que eles tragam alguma ordem ao caos aparente dos diferentes processos com fluxos de trabalho flexíveis” (KRAJEWSKI, RITZMAN e MALHOTRA, 2010).

Exemplos de arranjo físico funcional podem ser encontrados em lojas de departamentos, na qual a organização é feita em ‘roupas femininas’, ‘roupas masculinas’, ‘eletrodomésticos’, ‘sapatos’, etc.; em supermercados que, em geral, agrupam seus produtos conforme sua função em ‘material de limpeza’, ‘congelados’, ‘alimentos’, entre outros; e também em hospitais, cujo setores são organizados pela especialidade ou função em ‘setor de ortopedia’, ‘setor de radiologia’, etc. (CORRÊA e CORRÊA, 2009). Outro exemplo de arranjo físico funcional é o de uma biblioteca, representado na figura 5, na qual as linhas mostram o caminho de apenas um cliente.

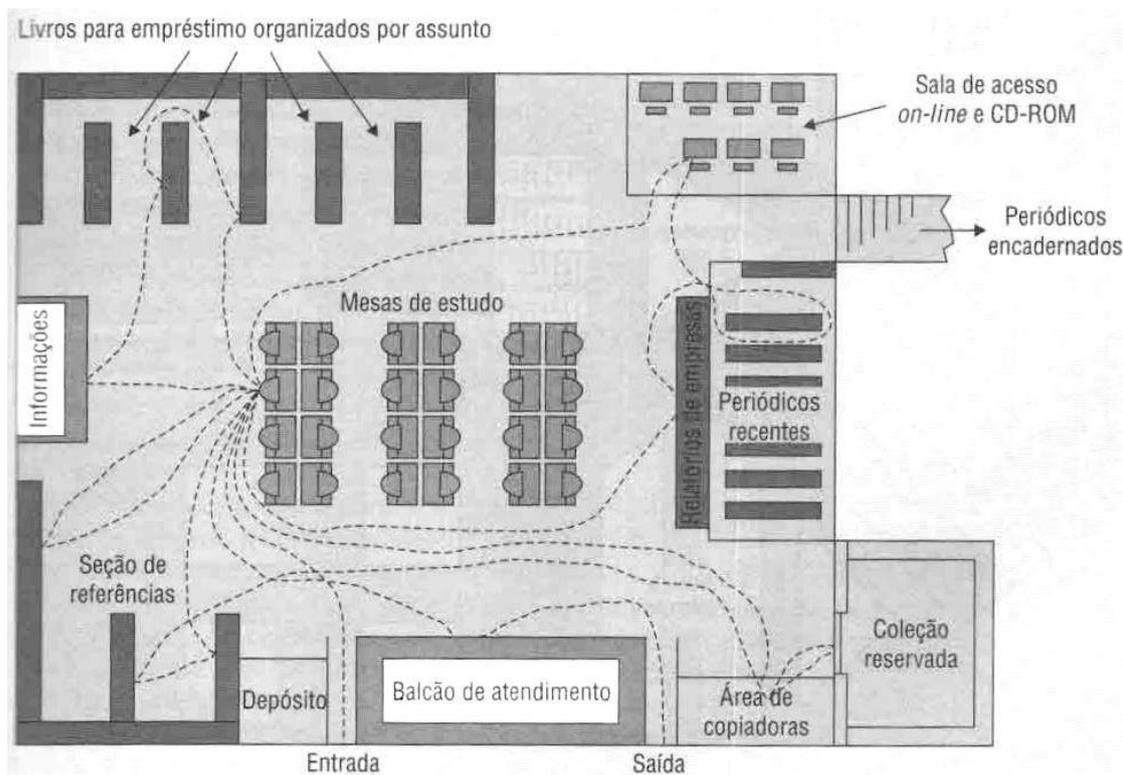


Figura 5 – Arranjo físico por processo
Fonte: SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON (2009)

Segundo Peinado e Graeml (2007), as vantagens do arranjo físico funcional são:

- *Grande flexibilidade para atender as mudanças do mercado:* de uma maneira geral, basta alterar o fluxo a ser seguido pelo produto no processo.
- *Bom nível de motivação:* a mão-de-obra geralmente é especializada e qualificada. Quando os produtos são únicos, não existe produção repetitiva, diminuindo a monotonia e assim o tédio no trabalho.
- *Atende a produtos diversificados em quantidades variáveis ao mesmo tempo:* permite que mais de um tipo e modelo de produto sejam fabricados simultaneamente, na mesma planta fabril.
- *Menor investimento para instalação do parque industrial:* como os equipamentos são agrupados, um único sistema de, por exemplo, refrigeração, instalações hidráulicas, ar comprimido, entre outros, poderá servir a diversas máquinas. Há também a vantagem de venda ou troca do equipamento quando o mesmo não for mais útil para a operação.
- *Maior margem do Produto:* geralmente nesse tipo de arranjo são fabricados produtos com maior valor agregado. Portanto a maior margem do produto

não advém do tipo de arranjo, mas sim do tipo de produto que são fabricados no arranjo físico por processo.

O autor ainda apresenta as desvantagens do arranjo físico funcional ou por processo:

- *Apresenta um fluxo longo dentro da fábrica*: os processos normalmente não estão posicionados na melhor sequência para determinado produto. Como o produto “procura” o processo ao longo da planta fabril, há necessidade de deslocamento por maiores distâncias. Também pode ocorrer o ‘vai e volta’ de um produto, tornando difícil o gerenciamento das atividades.

- *Diluição menor de custo fixo em função de menor expectativa de produção*: a empresa necessita de uma série de recursos disponíveis em função da necessidade de uma operação específica que pode ou não ocorrer, pois raramente se tem conhecimento com antecedência do que se vai produzir.

- *Dificuldade de balanceamento*: a dificuldade de se programar e balancear o trabalho são maior devido à constante alteração do produto. Isto costuma gerar estoques em processo mais elevados para compensar as diferenças de processamento.

- *Exige mão-de-obra qualificada*: por um lado pode ser uma vantagem, e por outro uma desvantagem, visto que empresas brasileiras costumam lidar com folhas de pagamento de baixo valor.

- *Maior necessidade de preparo e setup de máquinas*: os baixos volumes resultam na necessidade de preparo maior das máquinas, proporcionalmente ao tempo que estas são mantidas em operação.

2.3.2.2 Arranjo físico por produto

Nesta forma de arranjo físico, cada produto, cliente ou informação segue uma sequência predefinida de atividades, que coincide com a sequência na qual os processos foram arranjados fisicamente, formando uma linha de produção, motivo pelo qual o arranjo, às vezes, é chamado de arranjo físico em fluxo ou em linha. Este fluxo é sempre muito claro e previsível, tornando-o relativamente fácil de controlar (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009).

Os departamentos ou estações de trabalho são arranjados em uma sequência linear, no qual o cliente ou produto se move ao longo de um fluxo regular e contínuo. Geralmente o *layout* por produto segue uma linha reta, entretanto a linha reta nem sempre é a melhor opção, podendo assumir a forma de um L, de um S, de U, ou de um O (KRAJEWSKI, RITZMAN e MALHOTRA, 2010).

Esta forma de arranjo só é viável quando as operações processam grandes volumes de fluxo que percorrem uma sequência muito similar. É o caso de empresas que fabricam um ou poucos produtos em altos volumes, ou que tenham grandes volumes de clientes que percorrem uma mesma sequência de etapas no processo de atendimento (CORRÊA e CORRÊA, 2009). Slack, Chambers e Johnston (2009) resumem afirmando que geralmente um arranjo físico por produto é escolhido devido à uniformidade dos requisitos do produto ou serviço na operação.

Quando os volumes são altos, as vantagens do arranjo físico por produto incluem tempo de processamento mais rápido, estoques menores e baixos tempo improdutivo perdido com setup e manipulação de materiais (KRAJEWSKI, RITZMAN e MALHOTRA, 2010). Diante disso, o fluxo neste tipo de arranjo físico é considerado de eficiência máxima. Esta eficiência é alta em linhas de montagem, mas pode chegar ao seu máximo em operações de fluxo contínuo, como é o caso de uma planta petroquímica, na qual o fluxo flui por tubulações desde a matéria-prima original chegando ao produto, passando de etapa a etapa. A eficiência desse fluxo é máxima, porém qualquer alteração de roteiro produtivo é impossível ou muito difícil de ser feita.

Desta forma, por privilegiar a eficiência, o arranjo físico por produto acaba se tornando menos flexível. Segundo Krajewski, Ritzman e Malhotra (2010, p. 262) “o desafio do *layout* por produto é agrupar as atividades em estações de trabalho e alcançar a taxa de produção desejada com o mínimo de recursos”.

São exemplos de arranjo físico por produto as linhas de montagem de veículos, aparelhos eletrônicos, como televisores, impressoras, indústrias de processo, como as indústrias de papel, aço, petroquímica, etc. (CORRÊA e CORRÊA, 2009). Operações de serviços também podem utilizar o arranjo físico por produto, como, por exemplo, os recrutas do exército, que provavelmente serão processados num programa cujo alistamento é uma sequência, os programas de vacinação em massa, onde os clientes cumprem a mesma sequência de atividades burocráticas, etc. (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009). A figura 6 demonstra

a sequência de processos na manufatura de papel, que, apesar de diferentes tipos de papéis serem fabricados na operação, todos demandam a mesma sequência de processos.

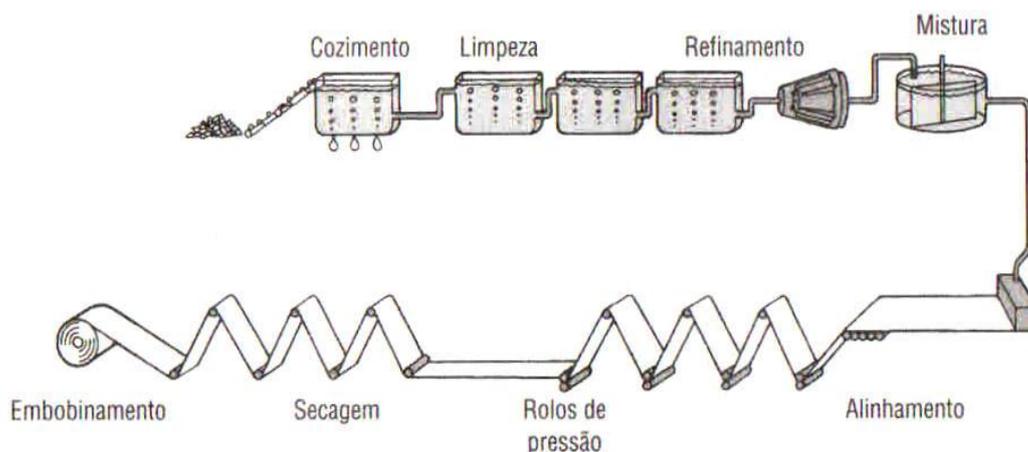


Figura 6 – Arranjo físico por produto
Fonte: SLACK, CHAMBERS e JOHNSTON (2009)

Entre as vantagens do arranjo físico por produto, pode-se citar, segundo Peinado e Graeml (2007):

- *Possibilidade de produção em massa com grande produtividade:* Devido as linhas de montagem necessitarem equipamentos especializados, a produtividade da mão-de-obra é elevada, visto que as tarefas são repetitivas, o grau de complexidade por tarefa é baixo e o grau de automatização é, geralmente, alto.
- *Controle de produtividade mais fácil:* em uma linha de produção é mais fácil de controlar a velocidade do trabalho, tanto que a supervisão pode aumentar ou diminuir a velocidade da própria linha, permitindo o aumento da produção ou, quando necessário, sua diminuição.
- *Carga de máquina e consumo de material constante ao longo da linha de produção:* devido o mesmo tipo de produto ser fabricado na linha a qualquer momento, torna-se mais fácil obter uma condição de balanceamento da produção.

O mesmo autor ainda descreve as desvantagens desse tipo de arranjo físico:

- *Alto investimento em máquinas:* o grau de automatização costuma ser alto, com máquinas específicas que necessitam de manutenção frequente.
- *Costuma gerar tédio nos trabalhadores:* geralmente as operações de montagem são monótonas, pobres e repetitivas, devido ao alto grau de divisão do

trabalho. Também ocorrem problemas nas articulações e outras lesões por esforço repetitivo. Os trabalhadores não demonstram interesse na manutenção e conservação dos equipamentos e podem ocorrer sabotagens.

- *Falta de flexibilidade da própria linha*: longo prazo de resposta para mudanças de volume da produção, tanto para aumentá-la quanto para reduzi-la ou para introdução de um novo produto. Os tempos de *setup* são longos.

- *Fragilidade e paralizações e subordinação aos gargalos*: como os produtos seguem uma linha, quando uma operação pára, a fila inteira pára. Outro fator é que a velocidade da linha é determinada pela velocidade da operação mais lenta, chamada gargalo produtivo.

2.3.2.3 Arranjo físico posicional

O arranjo físico posicional é também conhecido como arranjo físico de posição fixa, pois os materiais, informações ou clientes, ou seja, quem sofre o processamento, fica estacionário, enquanto as instalações, pessoas, maquinários e equipamentos se movem (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009). Este *layout* é utilizado quando o produto for pesado ou difícil de mover ou quando não se deseja a movimentação do mesmo, e, muitas vezes, é a única solução possível (KRAJEWSKI, RITZMAN e MALHOTRA, 2010).

A construção civil é o principal exemplo deste arranjo físico, já que é impossível fazer um edifício mover-se entre etapas de um processo produtivo. Outros exemplos são os aviões de grande porte, os estaleiros, as unidades de terapia intensiva, etc. Em geral, a eficiência deste tipo de arranjo físico é baixa, havendo necessidade de terceirização de grande parte das etapas do processo de agregação de valor. Porém, o grau de customização é máximo, pois geralmente os produtos que utilizam esse arranjo físico são únicos ou em pequenas quantidades (CORRÊA e CORRÊA, 2009).

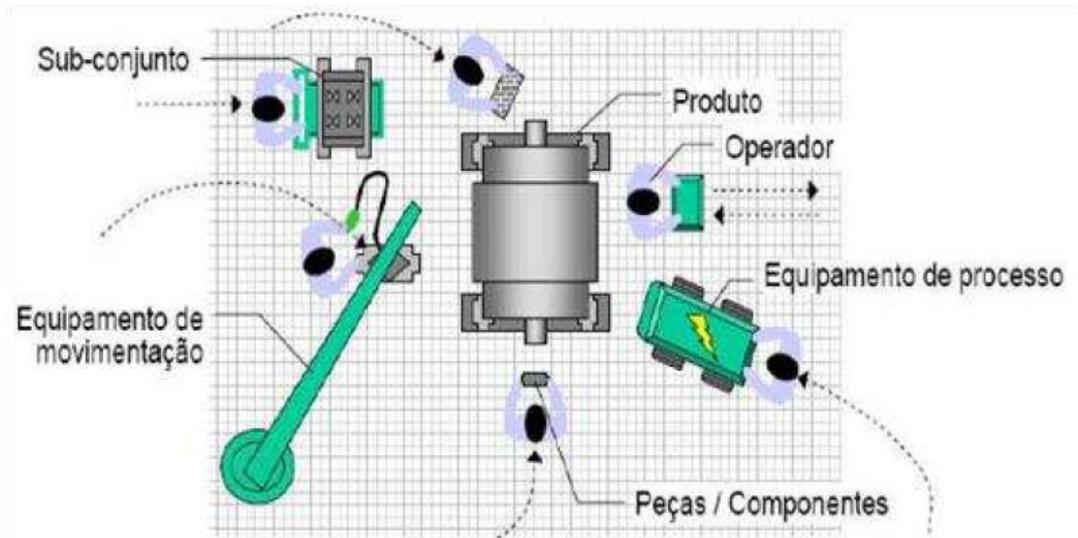


Figura 7 – Arranjo físico de posição fixa
 Fonte: Rocha (2011)

Segundo Peinado e Graeml (2007), as principais vantagens do arranjo físico posicional são:

- Não há movimentação do produto;
- Quando se tratar de um projeto de montagem ou construção, é possível utilizar técnicas de programação e controle como PERT e CPM, disponíveis em *softwares* acessíveis.
- Existe a possibilidade de terceirização de todo o projeto ou parte dele, com prazos previamente fixados.

Já as desvantagens desse tipo de arranjo, ainda segundo o autor, são:

- Complexidade na supervisão e controle de mão-de-obra, ferramentas, matérias-primas, etc.
- Necessidade de áreas externas próximas à produção para guardar materiais e ferramentas, submontagens, abrigo para funcionários, etc.
- Produção em pequena escala e com baixo grau de padronização.

2.3.2.4 Arranjo físico celular

No arranjo físico celular, “recursos não similares são agrupados de forma que com suficiência consigam processar um grupo de itens que requeiram similares

etapas de processamento” (CORRÊA e CORRÊA, 2009, p. 415).

Desta forma, os recursos transformados são pré-selecionados para serem inseridos em uma operação (ou célula), na qual se encontra todos os recursos necessários para o processamento. Após passarem por uma célula, os recursos podem prosseguir para outra célula (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009).

As células são “duas ou mais estações de trabalho diferentes localizadas próximas uma da outra, por meio das quais um número limitado de peças ou modelos é processado com fluxos em linha” (KRAJEWSKI, RITZMAN e MALHOTRA, 2010, p. 262).

O arranjo celular procura aumentar a eficiência do arranjo físico funcional, sem, no entanto perder muito de sua desejável flexibilidade (CORRÊA e CORRÊA, 2009).

Exemplos de arranjo físico celular podem ser encontrados na maternidade de um hospital e em uma loja de departamento. Na maternidade os clientes formam um grupo que, provavelmente, não necessitam de cuidados de outras partes do hospital. Na loja de departamento, o arranjo físico predominante é o arranjo físico funcional, já que cada área vende um tipo de produto como sapatos, roupas, livros, etc. Porém, no setor de esportes, podem-se encontrar vários tipos de produtos com o tema esporte. Este setor é considerado uma loja-dentro-da-loja, onde se pode encontrar, por exemplo, roupas esportivas masculinas e femininas, calçados esportivos, revistas, livros, sacolas esportivas, equipamentos e artigos esportivos, entre outros. Desta forma, eles foram localizados dentro da ‘célula’ não por possuir características similares, mas sim por satisfazer às necessidades de um tipo particular de consumidor (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009).

Como resultados pode-se apontar o ganho de velocidade e eficiência de fluxo, já que os recursos em uma célula estão próximos e as distancias são muito menores; aumento na qualidade, já que os funcionários são agrupados e tendem a desenvolver mais a sensação de propriedade e responsabilidade por uma família inteira de itens e não apenas por uma etapa produtiva; melhor controle de produção, pois, geralmente, a célula é focada em um pequeno grupo de itens (CORRÊA e CORRÊA, 2009).

Um exemplo de arranjo físico celular está exemplificado na figura 8.

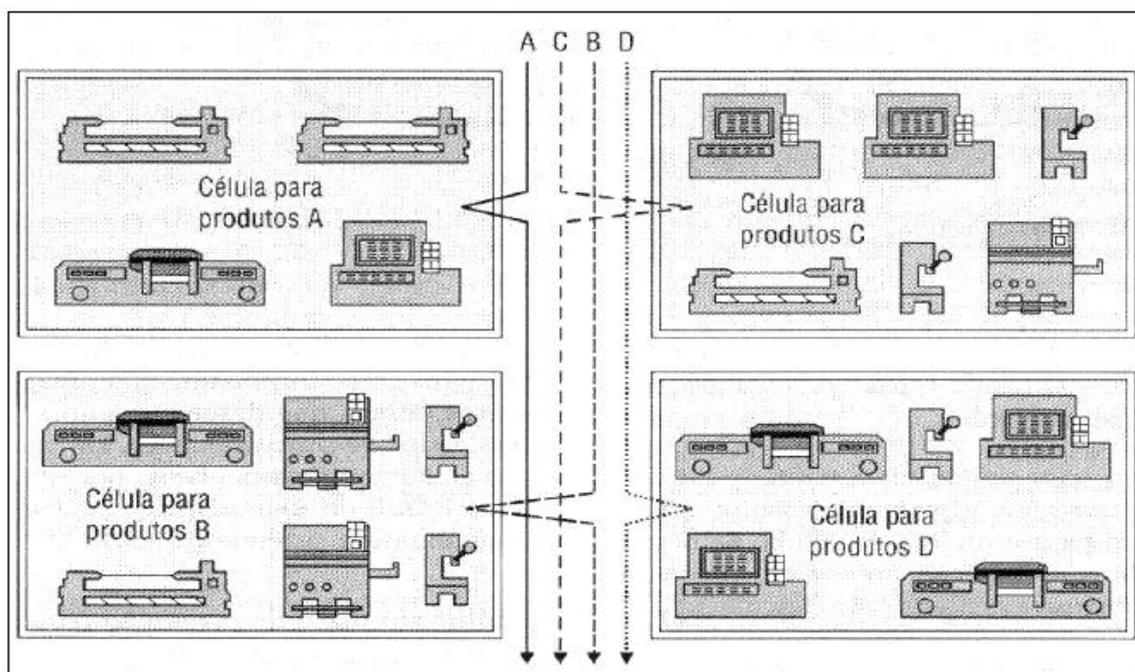


Figura 8 – Arranjo físico celular
Fonte: PEINADO e GRAEML (2007)

Para Peinado e Graeml (2007), as vantagens do arranjo físico celular são:

- *Aumento da flexibilidade quanto ao tamanho de lotes por produto:* como as máquinas são posicionadas em células, o tempo de *setup* acaba sendo reduzido, pois menos tipos de famílias de produtos serão produzidos na célula. Com a redução do tempo de *setup*, é possível diminuir o tamanho dos lotes, tornando a produção mais flexível.
- *Diminuição do transporte do material:* a proximidade das máquinas e equipamentos na célula faz com que as distancias percorridas sejam reduzidas.
- *Diminuição dos estoques:* a diminuição dos lotes mínimos de fabricação reduz o estoque médio do produto fabricado. Há também a redução de estoque no processo, devido a redução do tempo de espera dos itens em processamento entre as estações de trabalho, quando comparado ao arranjo físico por processo.
- *Maior satisfação no trabalho:* Os funcionários passam a trabalhar o processo completo de fabricação do produto, e não mais tarefas fracionadas como nos outros tipos de arranjo físico. Isto torna o trabalho mais interessante e faz com que os funcionários se sintam mais responsáveis pelo processo e valorizados pela empresa.

Ainda para Peinado e Graeml (2007), entre as desvantagens do arranjo físico celular, estão:

- *Específico para uma família de produtos*: Como a célula é preparada para um único tipo ou família de produtos, a mesma tende a ficar ociosa quando não há programação de produção para aquela célula específica, mesmo possuindo recursos produtivos que pudessem estar sendo utilizados.
- *Dificuldade em elaborar o arranjo*: a dificuldade na elaboração de um arranjo celular é maior que a do arranjo por produto e por processo.

2.3.2.5 Arranjo físico misto

Em muitos casos é necessário combinar elementos de alguns ou todos os tipos básicos de arranjos físicos, ou usar tipos básicos de arranjos físicos em diferentes partes da operação de forma pura. Esta combinação de arranjos chama-se arranjo físico misto. (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009). Um exemplo deste tipo de arranjo físico está representado na figura 9.

Para Peinado e Graeml (2007, p.228), “o arranjo físico misto é utilizado quando se deseja aproveitar as vantagens dos diversos tipos de arranjo físico conjuntamente. Geralmente é utilizada uma combinação dos arranjos por produto, por processo e celular”.

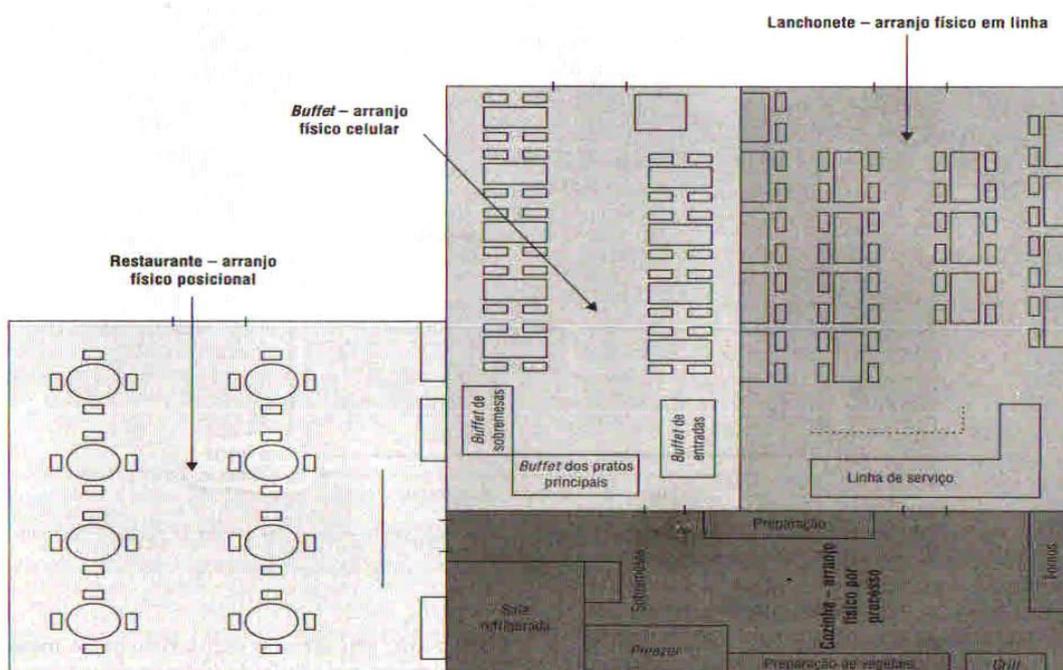


Figura 9 – Arranjo físico misto
Fonte: PEINADO e GRAEML (2007)

Na figura 9 é mostrado um restaurante que apresenta quatro tipos básicos diferentes de arranjo físico. A cozinha apresenta arranjo físico por processo, com os processos (fornos, preparação, grill, etc) agrupados. O restaurante do tipo *buffet* está arranjado conforme arranjo físico celular, com todos os processos (pratos) necessárias para os clientes se servirem de acordo com suas necessidades de entrada, prato principal ou sobremesa. Já no restaurante tradicional, o arranjo físico encontrado é o posicional, sendo que os clientes ficam em suas mesas enquanto a comida é trazida. Na lanchonete, que pode ser um restaurante por quilo, o arranjo físico é o em linha, considerando que os clientes passam pelo mesmo roteiro quando estão se servindo, mesmo não se servindo dos mesmos pratos disponíveis, movem-se na mesma sequencia de processos (SLACK, CHAMBERS, JOHNSTON, 2009).

2.4 O STP E O *LAYOUT* INDUSTRIAL

Segundo Lopes (1998, apud PAÇO, 2006), o *layout* produtivo é responsável por grande parte dos desperdícios identificados pela Produção Enxuta, e que por isso são necessárias mudanças na forma de arranjar os recursos produtivos sempre que se quer eliminar perdas.

Silva (2009) destaca que todos os tipos de *layout* apresentam características próprias que os aproximam ou distanciam do modelo de produção enxuta. Portanto, segundo o autor, para a análise de cada um, são definidos alguns critérios:

- **Movimentação:** a movimentação e transporte excessivo são dois dos desperdícios que precisam ser eliminados de acordo com a Produção Enxuta. Desta forma, o *layout* produtivo deve permitir que a movimentação de materiais e produtos seja a menor possível dentro da fábrica.

- **Fluxo Contínuo:** como o fluxo contínuo é o principal objetivo da Produção Enxuta, o *layout* deve ser planejado em função desse objetivo, visto que o fluxo contínuo e unitário depende, entre outros fatores, da proximidade dos equipamentos produtivos. Assim, o *layout* deve possibilitar que as peças e produtos fluam de forma suave e contínua entre as estações de trabalho.

- **Gestão Visual:** a gestão visual auxilia no gerenciamento das atividades no chão-de-fábrica. O *layout* deve permitir a visualização, senão do todo, ao menos das etapas completas de um determinado processo, de forma que o gerente de produção consiga ter uma visão clara dos operadores e do sistema produtivo quando caminhar pela fábrica.

- **Flexibilidade:** o *layout* deve permitir que a empresa altere de forma rápida e eficiente seu *mix* de produtos e o volume de produção, visto que a sazonalidade e a demanda por produtos personalizados são fatores que impulsionam as empresas.

- **Estoques:** o *layout* produtivo deve minimizar as distâncias físicas entre máquinas e equipamentos, buscando a eliminação de produção em lotes, que gera estoques intermediários, que são uma das principais fontes de desperdícios da Produção Enxuta.

- **Qualidade:** o arranjo físico auxilia na qualidade quando possibilita o fluxo contínuo e conseqüentemente os defeitos são detectados mais rapidamente, logo que uma peça é transferida para o processo seguinte.

- **Utilização de Mão-de-Obra multifuncional:** a multifuncionalidade de um operador depende, entre outros fatores, do arranjo físico, pois a proximidade dos postos de trabalho pode permitir que um operador trabalhe em mais de um equipamento ao mesmo tempo.

- **Nível de complexidade de programação da produção:** quanto maior a aleatoriedade do fluxo, maior a dificuldade em se programar a produção nas estações de trabalho, visto que o nível de complexidade da programação da produção está relacionado com o nível de organização do fluxo do processo.

Para Shingo (2008), a melhoria no *layout* industrial reduz uma série de perdas no processo produtivo: melhoria nos índices de qualidade, devido a rapidez do *feedback* da informação; eliminação das horas-homem de transporte, que não agregavam valor ao produto; redução do *lead time* produtivo, que viabiliza a produção contra pedido; aumento da produtividade devido aos operários multifuncionais; redução dos estoques entre processos; e aumento da motivação e comprometimento dos funcionários por trabalharem com várias funções e participarem no resultado da empresa. O autor ainda considera que a otimização do *layout* industrial é uma pré-condição para estabelecer o fluxo contínuo, tão importante para o STP.

O quadro 1 mostra que o *layout* que mais se aproxima dos princípios da Produção Enxuta é o celular, ainda que apresente algumas limitações. Porém, para a produção enxuta, não existe um *layout* ideal a ser utilizado, sendo que as particularidades de cada caso conduzirão a um *layout* específico. Muitas empresas que utilizam o sistema enxuto possuem *layout* híbrido, no qual para determinadas etapas utilizam um *layout* celular ou até mesmo funcional, por exemplo, e para outras utilizam um *layout* em linha. A mescla de arranjos físicos pode trazer benefícios como a formação de um fluxo eficiente de produção e a não necessidade de duplicação de equipamentos (SILVA, 2009).

Quadro 1 – Análise dos diferentes modelos de *layouts* sob a ótica da Produção Enxuta.

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

Fonte: Silva (2009).

2.5 MODELO DE CONSTRUÇÃO DE LAYOUT: SLP

Há vários modelos de construção de *layout* existentes na literatura. O mais antigo e tradicional foi concebido por Muther (1973), chamado de SLP – *Systematic Layout Planning* (SILVA, 2009). De acordo com Santos, Gohr e Laitano (2012), apesar do sistema ter sido proposto há muito tempo, ele ainda representa uma grande aplicabilidade nos modernos sistemas de produção, e serve de referência para projetos de instalações produtivas e também para pesquisas na área.

De acordo com Tortorella (2006), o método SLP é o mais utilizado em planejamento de *layout*, e tem sido utilizado ao longo dos anos aplicado à produção, transporte, armazenamento, serviços de suporte e atividades em escritórios, dentre

outros.

Segundo Muther (1978, *apud* LOUREIRO, 2011), o sistema SLP atende técnicas de análise aprofundadas, abordagem lógica, lista de convenções e linguagem simplificada e, principalmente, um modelo de procedimentos linear fácil de ser seguido. Desta forma, “o SLP é uma ferramenta que irá auxiliar indivíduos na tomada de decisão quanto ao melhor posicionamento das instalações, máquinas, equipamentos e pessoal na linha de produção” (COSTA, 2004, p.38), identificando entre vários cenários o que mais se ajusta às necessidades estabelecidas pela empresa (YANG et al., 2000, *apud* MARTINS e FREITAS, 2011).

O objetivo do SLP é a redução de custos e conseqüentemente o aumento na eficiência e na produtividade, decorrente da melhor utilização do espaço disponível, fluxo racional, melhores condições de trabalho e redução da movimentação de materiais, produtos e pessoal (MUTHER, WHELLER, 2000, *apud*, EMERIQUE, CARDOSO e FREITAS, 2011). Para se alcançar os objetivos, o projeto de *layout* através do SLP envolve as relações entre as funções ou atividades, o espaço em uma determinada quantidade e tipo para cada atividade, e o ajuste destes, dentro do planejamento de *layout* (MUTHER e WHEELER, 2008).

A estrutura do modelo SLP é apresentada na figura 10. Com base na figura, o modelo de procedimentos do SLP, de acordo com Santos, Gohr e Laitano (2012), é constituído pelos seguintes elementos:

Dados de entrada: são variáveis que, além das atividades do processo de produção, devem ser consideradas antes do início da análise do arranjo físico: produto (P), quantidade ou volume de produção (Q), roteiro ou sequência do processo de produção (R), serviços de suporte (S) e tempos envolvidos na produção (T). De acordo com Muther (1978, *apud* COSTA, 2004):

a) Produto (P): o que é produzido pela empresa, a matéria-prima, peças compradas, montadas, tratadas, mercadorias acabadas e/ou serviços prestados ou processados. Os produtos podem ser expressos em itens, modelos, formas, variedades, número de peças, etc.

b) Quantidade (Q): é o total do produto ou material produzido, fornecido ou utilizado. Pode ser expressa em número de peças, volume, peso ou valor do montante produzido ou vendido.

c) Roteiro (R): processo segundo o qual o produto ou material será fabricado. Pode ser definidos por listas de operações e equipamentos, gráficos de fluxo, cartas de processo, etc.

d) Serviços de suporte (S): são atividades, recursos ou funções auxiliares que devem suprir a área em questão e que lhe darão condições de funcionamento efetivo. Os serviços incluem reparo de máquinas, sanitários, manutenção, alimentação, escritórios de fábrica, etc.

e) Tempo (T): envolve questões de quanto produzir ou quando o projeto será colocado em operação. A medida do tempo é importante para questões como urgência de uma ação ou uma entrega, ritmo de produção, etc.

Segundo Costa (2004), com base nesses cinco elementos, o projetista de *layout* terá um suporte seguro, visto que muitas vezes este início é a parte mais difícil do projeto.

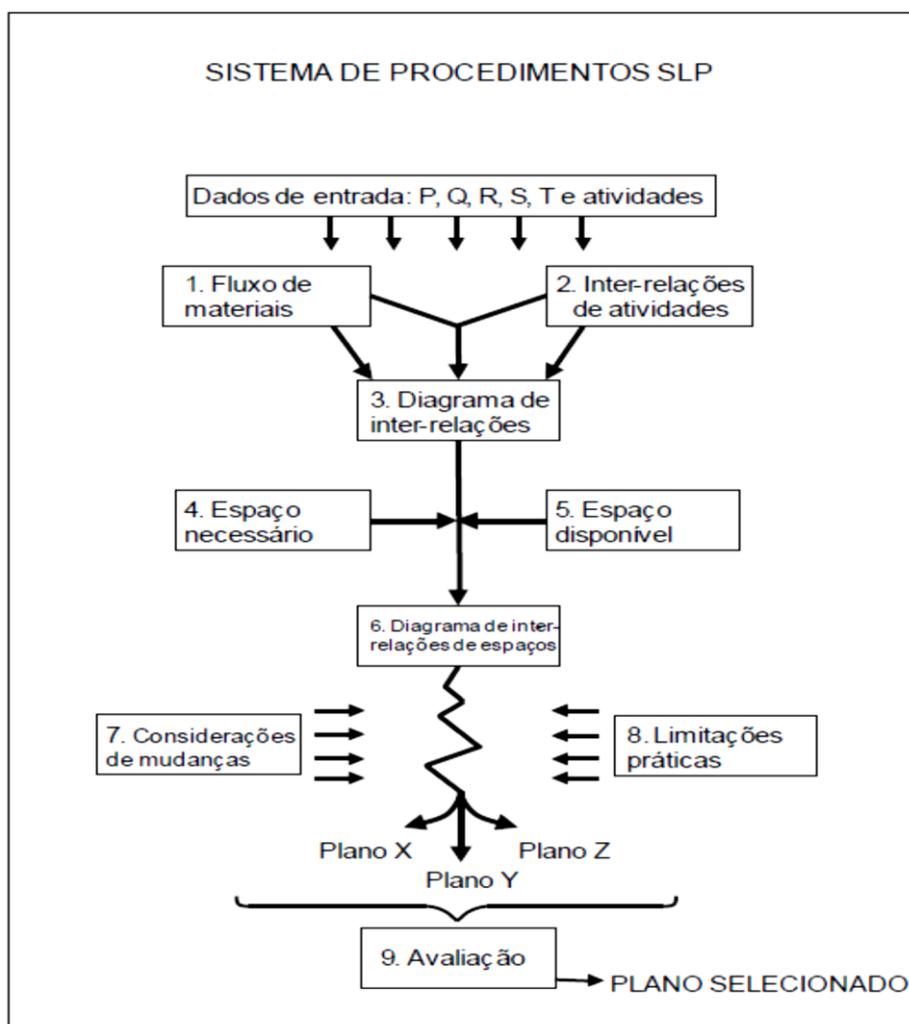


Figura 10 – Modelo de procedimentos do SLP
 Fonte: SANTOS, GOHR e LAITANO (2012)

1) **Fluxo de materiais:** o fluxo de materiais deve ser identificado através das áreas envolvidas, de acordo com a sequência e a intensidade do deslocamento do material. Os fluxos quase sempre são os fatores predominantes da decisão no projeto do arranjo físico, sendo as principais ferramentas utilizadas na etapa os fluxogramas, carta de processos múltiplos, carta “de-para”, mapafluxograma, etc.

	Plasma	Serra	Usinagem	Guilhotina	Dobradeira	Montagem / solda	Pintura
Plasma	x	0	30	0	0	35	0
Serra		x	35	0	0	25	0
Usinagem			x	0	0	65	0
Guilhotina				x	40	30	0
Dobradeira					x	40	0
Montagem / solda						X	20
Pintura							X

Figura 11 – Carta “De-Para”
Fonte: PISKE (2008)

De acordo com Tiberti (2003, apud PISKE, 2008), “as linhas e colunas desta tabela representam cada elemento do arranjo físico (máquinas, equipamentos, departamentos ou atividades) e os valores em seus cruzamentos são medidas quantitativas de fluxo de material entre esses elementos, como distância, custo de transporte e número de viagens”.

2) **Inter-relações de atividades:** procura identificar a importância da proximidade relativa entre as áreas, sendo uma análise mais qualitativa.

Para essa etapa, pode-se utilizar um diagrama de relacionamento, mostrado como exemplo na figura 12, ou uma carta de inter-ligações preferenciais, demonstrada na figura 13.

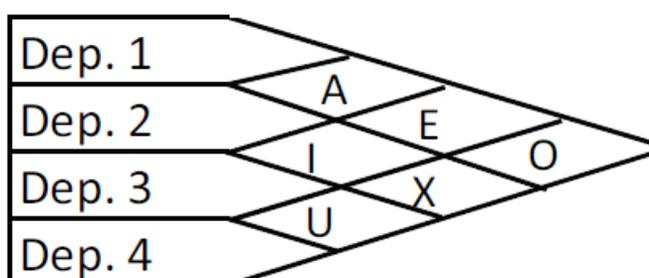


Figura 12 – Diagrama de relacionamento
Fonte: SILVA (2009)

Segundo Silva (2009), as letras no diagrama representam o tipo de relação entre os departamentos ou áreas:

✓ A - Absolutamente necessário: indica que é necessário que os departamentos estejam próximos.

✓ E – Especialmente importante: indica que é muito importante que estejam próximos devido a existência de uma grande intensidade de fluxo entre os departamentos.

✓ I – Importante: indica que existe fluxo entre os departamentos e caso seja possível estes devem estar próximos.

✓ O – Proximidade Normal: indica que a quantidade de fluxo entre os departamentos é pequena, não sendo necessário que os departamentos estejam próximos.

✓ U – Sem importância: indica que não há fluxo entre os departamentos ou há uma quantidade desprezível e, portanto não precisam estar próximos.

✓ X – Indesejável: indica que os departamentos não podem estar próximos.

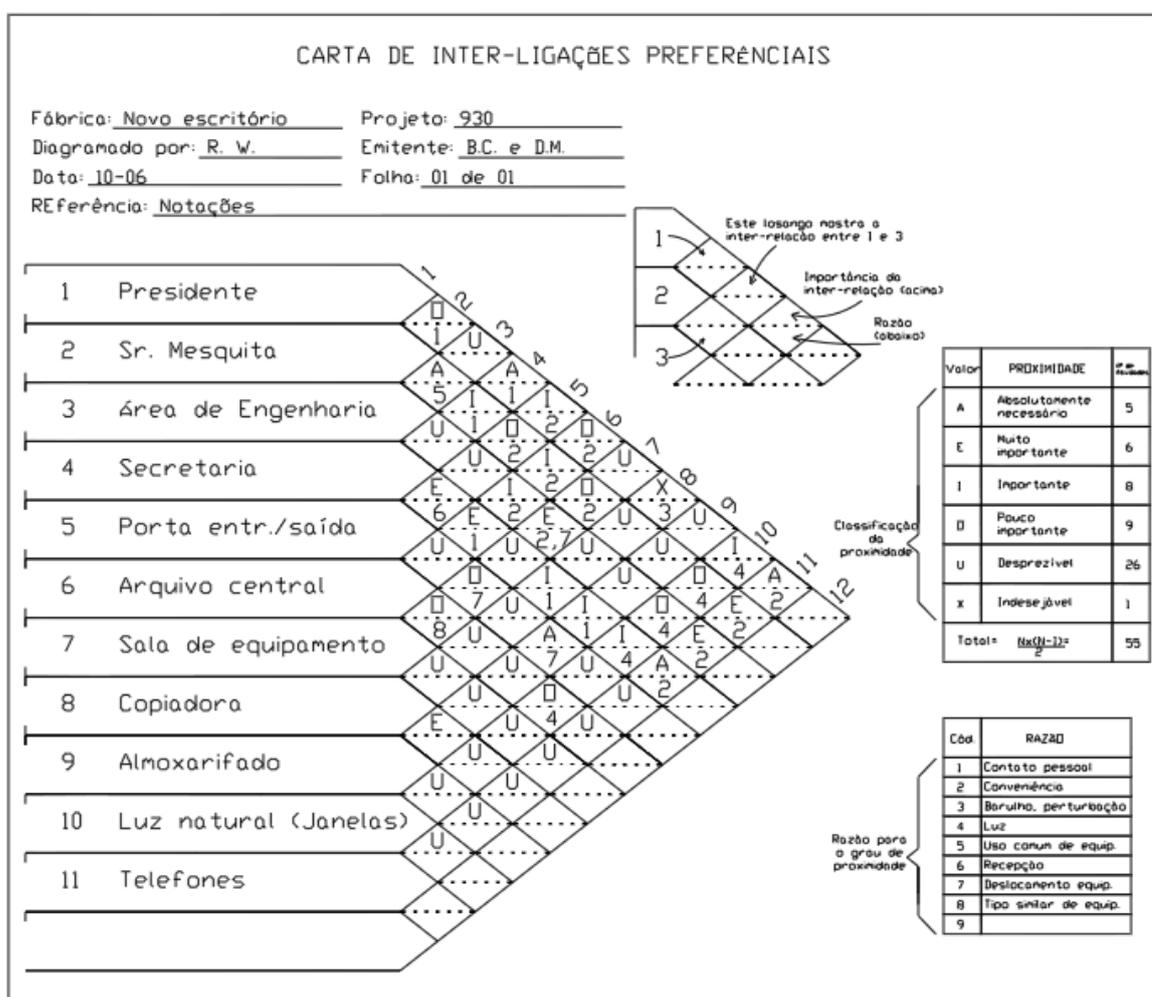


Figura 13 – Carta de Inter-Ligações Preferenciais
 Fonte: MUTHER (1978) *apud* COSTA (2004)

3) **Diagrama de inter-relações:** é uma ferramenta que procura integrar o mapeamento do fluxo de materiais com a avaliação das interligações preferenciais.

Nessa fase, busca-se relacionar os departamentos sem considerar o espaço que cada elemento necessita no arranjo físico, procurando uma visualização dos dados, cálculos e análises feitos, para transformar essas informações em um esboço da localização de cada área (COSTA, 2004).

A figura 14 mostra um exemplo de diagrama de inter-relações, no qual cada símbolo indica o tipo de atividade, o número dentro do símbolo identifica as áreas e o número de linhas ligando os símbolos fornece o grau de proximidade desejada (COSTA, 2004). De acordo com a simbologia proposta por Muther e Wheeler (2008), quatro linhas paralelas representam as atividades que possuam relação com classificação A; três linhas representam as atividades com classificação E; duas linhas são as que possuem classificação I; uma linha as com classificação O; uma linha em forma de ziguezague as atividades com classificação X.

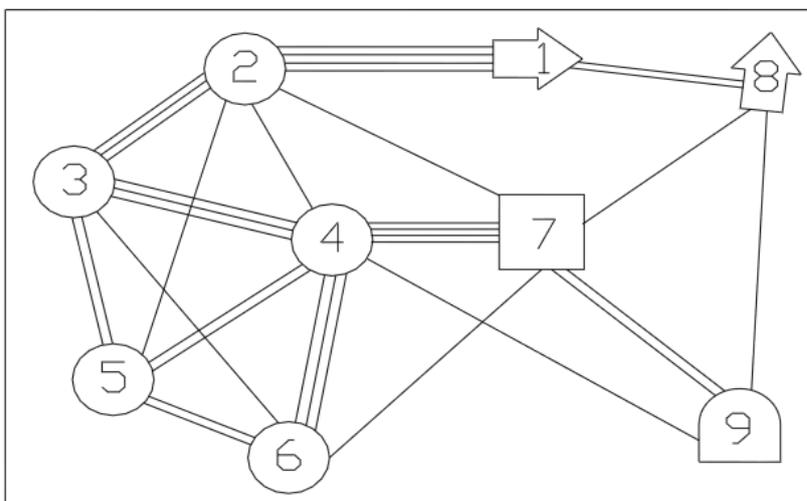


Figura 14 – Diagrama de Inter-Relações
Fonte: MUTHER (1978) apud COSTA (2004)

4) **Espaço necessário:** é a determinação do espaço requerido para alocação de máquinas e equipamentos.

5) **Espaço disponível:** é a análise do espaço disponível para a instalação de máquinas e equipamentos.

6) **Diagrama de inter-relações de espaços:** considerando que o espaço requerido já foi devidamente balanceado com o espaço disponível, nessa fase o

diagrama de inter-relações é aplicado com o objetivo de gerar um arranjo físico prévio. A figura 15 apresenta um exemplo de diagrama de relacionamento e espaço.

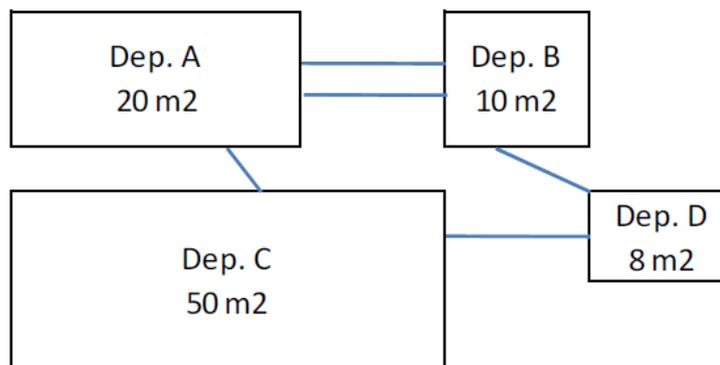


Figura 15 – Diagrama de relacionamento e espaço
Fonte: SILVA (2009)

7) **Considerações de mudanças:** são considerados fatores relativos a tipos de processos, necessidades de pessoal, métodos de movimentação de materiais, etc., para a realização dos ajustes necessários.

8) **Limitações práticas:** cada consideração de mudança que houver, deve ser comparada com as limitações praticas referentes a restrições técnicas, custos, segurança, etc., a fim de analisar a viabilidade dos projetos de *layout*.

9) **Avaliação de alternativas:** os diferentes planos alternativos que forem gerados devem ser avaliados, ponderando seus benefícios e limitações.

Segundo Francis et al. (1992, *apud* TORTORELLA, 2006), a seleção do *layout* pode ser classificada em dois grupos: qualitativos e quantitativos. A avaliação também pode ser um misto de ambas.

a) **Avaliação Multicriterial Qualitativa:** os critérios de avaliação utilizados são qualitativos, como flexibilidade, segurança, etc.

b) **Avaliação Multicriterial Quantitativa:** os critérios de decisão são quantitativos, como custo de transporte, distância percorrida pelos materiais, etc.

De acordo com Muther e Wheeler (2008), a avaliação das alternativas deve seguir os seguintes passos:

1. Identificar os possíveis arranjos;
2. Estabelecer os fatores que afetam a escolha da alternativa;
3. Atribuir para cada fator um peso, indicando sua importância para a eficiência do *layout*.

4. Classificar cada plano alternativo para cada fator, utilizando a classificação com vogais;
5. Transformar as classificações com vogais em números, e multiplica-los pelos pesos estabelecidos;
6. Totalizar os valores das classificações em pesos para cada alternativa de arranjo físico, sendo a melhor alternativa a que obtiver o maior valor.

Segundo os autores, apenas uma lista de pros e contras não é o suficiente para determinar a melhor alternativa, pois não reconhece adequadamente a importância de vários fatores. Além disso, o método de avaliação proposto é objetivo e imparcial, evitando quaisquer descuidados que pode haver em um fator importante.

3 METODOLOGIA

De acordo com Silva e Menezes (2001, p. 20), “pesquisa é um conjunto de ações, propostas para encontrar a solução para um problema, que têm por base procedimentos racionais e sistemáticos. A pesquisa é realizada quando se tem um problema e não se tem informações para solucioná-lo”. De modo a obter as informações necessárias, devem-se escolher estratégias de pesquisa que, segundo Yin (2001), depende de três condições: o tipo de questão de pesquisa, a extensão de controle que o pesquisador tem sobre os eventos estudados e o grau com que a pesquisa envolve a investigação dos fatos contemporâneos.

Para determinar as estratégias, Silvia e Menezes (2001, p. 20) classificaram os tipos de pesquisas, que podem ser diferenciadas segundo pontos de vistas descritos a seguir:

- Do ponto de vista da natureza: podem ser classificadas em: *Pesquisa Básica*: tem por objetivo gerar novos conhecimentos úteis sem aplicação prática prevista, envolvendo verdades e interesses universais; *Pesquisa Aplicada*: tem por objetivo gerar conhecimento para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos, envolvendo verdades e interesses locais.

Neste trabalho a pesquisa será aplicada, visto que se limita a uma fábrica específica, gerando conhecimento prático com interesse local.

- Do ponto de vista da forma de abordagem do problema: *Pesquisa Quantitativa*: traduz em números opiniões e informações para classificá-las e analisá-las, utilizando-se recursos estatísticos. *Pesquisa Qualitativa*: considera que há um vínculo entre o mundo objetivo e o subjetivo do sujeito que não pode ser traduzido em números, não requerendo métodos estatísticos.

Como em uma fábrica a produção caracteriza-se por números, será utilizada a pesquisa quantitativa, de modo a sintetizar informações em dados estatísticos. Porém, como o planejamento do *layout* depende da experiência dos gestores, a pesquisa qualitativa também será indispensável.

- Do ponto de vista de seus objetivos (GIL, 1991, *apud* Silva e Menezes, 2001, p. 21): *Pesquisa Exploratória*: visa tornar o problema explícito ou construir hipóteses, utilizando levantamento bibliográfico, entrevistas e análise de exemplos

que estimulem a compreensão, assumindo, em geral, as formas de Pesquisa Bibliográfica e Estudo de Caso; *Pesquisa Descritiva*: visa descrever características de determinada população ou fenômeno, envolvendo técnicas de coleta de dados como questionário e observação sistemática, assumindo, em geral, a forma de Levantamento; *Pesquisa Explicativa*: visa identificar os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fenômenos, explicando a razão do “porque” das coisas, assumindo, em geral, a forma de Pesquisa Experimental e Pesquisa Expost-facto.

O trabalho consiste em uma pesquisa exploratória, visto que se faz necessária familiaridade com o assunto, através de levantamentos bibliográficos e estudo de caso.

- Do ponto de vista dos procedimentos técnicos (Gil, 1991, apud Silva e Menezes, 2001, p. 21): *Pesquisa Bibliográfica*: elaborada com material já publicado, como livros, artigos e material disponibilizado na internet. *Pesquisa Documental*: elaborada com material que não recebeu tratamento analítico. *Pesquisa Experimental*: quando se determina um objeto de estudo, suas variáveis e formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto. *Levantamento*: envolve a interrogação direta das pessoas cujo comportamento deseja-se conhecer. *Estudo de caso*: envolve o estudo profundo e exaustivo, que permite amplo e detalhado conhecimento sobre o objeto. *Pesquisa Expost-Fact*: o experimento se realiza depois dos fatos. *Pesquisa-Ação*: realizada em associação com uma ação ou resolução de um problema coletivo, onde os pesquisadores e participantes estão envolvidos de modo corporativo ou participativo. *Pesquisa Participante*: se desenvolve entre pesquisadores e membros das situações investigadas.

A pesquisa deste trabalho refere-se a um estudo de caso, que, em complemento ao explicado por Gil (1991, apud Silva e Menezes, 2001, p. 21), “é um delineamento que se preocupa com questões do tipo ‘como’ e ‘por que’, o que se coaduna com o objetivo da pesquisa que consistiu em analisar com profundidade as causas das paradas não programadas do coprocessamento” (ACEVEDO E NOHARA, 2009, p. 50). Yin (2001) complementa que o estudo de caso é uma estratégia de pesquisa adequada quando o problema de pesquisa é um assunto pouco explorado pelos pesquisadores, e não existe uma delimitação clara entre o fenômeno a ser estudado e o contexto. O objeto de estudo é uma fábrica de Estruturas Metálicas existente na cidade de Medianeira, Paraná. A indústria está há

mais de 35 anos no mercado.

Também se faz presente no trabalho a pesquisa bibliográfica, que será utilizada para contextualizar o tema proposto, enfocando os assuntos relacionados ao mesmo. Este método é essencial, pois, conhecendo a teoria, pode-se determinar e questionar os problemas encontrados através do estudo de caso. Além disso, Amaral (2007, p. 5) ressalta que a pesquisa bibliográfica “é uma etapa fundamental em todo trabalho científico que influenciará todas as etapas de uma pesquisa, na medida em que der o embasamento teórico em que se baseará o trabalho. Consiste no levantamento, seleção, fichamento e arquivamento de informações relacionadas à pesquisa”.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA ESTUDADA

A fábrica em estudo está situada no município de Medianeira, Paraná, há 35 anos. O ramo de sua atividade é o projeto, fabricação e montagem de estruturas metálicas leves e pesadas de quadras esportivas, barracões, postos de combustíveis etc. Algumas das obras realizadas podem ser visualizadas na figura 16, figura 17 e figura 18.



Figura 16 – Concessionária em Foz do Iguaçu – PR – 3.110,00 m²
Fonte: Acervo da Fábrica, 2012.



Figura 17 – Armazém Graneleiro – 6.300,00 m²
Fonte: Acervo da Fábrica, 2012.



**Figura 18 – Ginásio de esportes – 4.600,00 m²
Fonte: Acervo da Fábrica, 2012.**

A empresa atende todo o Paraná e também regiões do Mato Grosso do Sul e Mato Grosso e teve um rápido crescimento nos últimos dois anos, acarretando na necessidade de construção de um novo espaço físico de 2.184,00 m². Este se situa na BR-277. A mudança para o novo local ocorreu no início do presente ano, e não houve estudo do arranjo físico para uma melhor locação de máquinas e equipamentos.

4.1.1 Características do Setor

Estruturas Metálicas são peças industrializadas capazes de cumprir o mesmo papel estrutural que vigas e pilares de concreto armado costumam desempenhar, aplicando-se tanto a pequenas construções domésticas quanto a grandes obras públicas. São amplamente difundidas em países como Estados Unidos e Alemanha e no Brasil vem ganhando um expressivo crescimento nos últimos anos. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) o consumo de aço destinado às estruturas metálicas passou de 324 mil toneladas em 2002 para 1,6 milhão de toneladas em 2009 (FALEIROS, JUNIOR, SANTANA, 2012).

O aço é uma liga metálica constituída basicamente de ferro e carbono. Os

aços se diferenciam pela forma, tamanho, uniformidade dos grãos e sua composição química. Em geral, os aços resistem bem à tração, à compressão, à flexão, e por ser um material homogêneo, pode ser estampado, estriado, laminado, forjado, além de suas propriedades poderem ser modificadas por tratamentos térmicos ou químicos (FERRAZ, 2003).

As primeiras obras em aço datam de 1750 quando começaram a produzi-lo industrialmente. Na França, por volta de 1780 o aço foi usado de forma estrutural na escadaria do Louvre e no Teatro do Palais Royal e na Inglaterra, em 1757, foi feita uma ponte de ferro fundido (BELLEI, 2004). No Brasil, a primeira obra a usar ferro foi a Ponte de Paraíba Sul, no Rio de Janeiro em 1857, estando em uso até hoje, com cinco vãos de 30 metros (BELLEI, 2004). Porém, a fabricação de estruturas metálicas iniciou-se mesmo com o surgimento da indústria siderúrgica, em 1934 em Volta Redonda, CSN – Companhia Siderúrgica Nacional (SANTOS, 1997, *apud* LUCCHINI, 2009).

Um dos motivos principais do uso tardio de ferro (e conseqüente do aço) no Brasil foi o alto custo do seu processo de fabricação, devido à alta temperatura necessária, que dificultava a popularização e a comercialização (FERRAZ, 2003). O crescente desenvolvimento do país aumentou a demanda por estruturas metálicas. Com isso, outras usinas de grande porte começaram a surgir, como a USIMINAS, CST, AÇOMINAS (grupo GERDAU), entre outras (SANTOS, 1997, *apud* LUCCHINI, 2009).

Em 1953 a CSN criou a FEM – Fábrica de Estruturas Metálicas, com a intenção de difundir o uso do aço nas construções. A fábrica, desativada em 1998, foi que iniciou a formação de mão de obra qualificada (BELLEI, 2004), dando início às edificações de aço no Brasil (NETO, 2008), com a fabricação de obras importantes como Edifício Avenida Central, no Rio de Janeiro, Edifício Garagem América, em São Paulo, Edifício Santa Cruz, em Porto Alegre (BELLEI, 2004).

Atualmente, o Brasil é o segundo maior produtor de minério de ferro do mundo (IBRAM, 2012). No ramo do aço, o país tem o maior parque industrial da América do Sul e é o maior produtor da América Latina, ocupando o quinto lugar como exportador líquido de aço e nono como produtor de aço no mundo (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2012). Portanto, o Brasil tem um potencial enorme para utilização do aço na construção.

As estruturas metálicas são utilizadas para diversos fins, com destaque para

montagem e construção de pontes, pórticos, torres, viadutos, grandes antenas, edifícios e galpões industriais e comerciais.

Exemplo de obra em estruturas de aço pode ser visualizado na figura 19.



Figura 19 – Aeroporto de Recife
Fonte: Portal Metálica, 2012.

Devido suas vantagens, o uso do material tem crescido muito nos últimos tempos, fato que se pode verificar através das inúmeras obras de diversos segmentos do ramo. Nos estádios, por exemplo, de 12 escolhidos para sediar as partidas da Copa 2014, ao menos sete deverão receber estruturas metálicas em suas coberturas: o Arena Salvador (em Salvador), Arena das Dunas (em Natal), Arena da Baixada (em Curitiba), Castelão (em Fortaleza), Estádio Nacional (em Brasília), Arena Cuiabá (em Cuiabá) e o Beira-Rio (em Porto Alegre) (MEIRELLES, 2011).

Com o veloz desenvolvimento da construção Metálica, as indústrias do ramo tiveram um rápido crescimento, não havendo tempo necessário para um planejamento adequado, tornando-as, muitas vezes, despreparadas para atender a alta demanda.

Devido a alta variabilidade do tamanho das obras e, conseqüentemente, dos componentes das estruturas, o processo é difícil de ser gerenciado, visto que o sistema de produção é por projeto.

4.1.2 Produtos Fabricados

A empresa destina-se à fabricação e montagem de estruturas metálicas leves e pesadas, compostas de tesouras, terças, contraventamentos, agulhas, alinhadores, pilares e base de fixação dos pilares.

Os produtos fabricados estão representados na figura 20, na qual os perfis indicados são apenas representativos. A fabricação dos produtos será abordada no item 4.2.1.3.

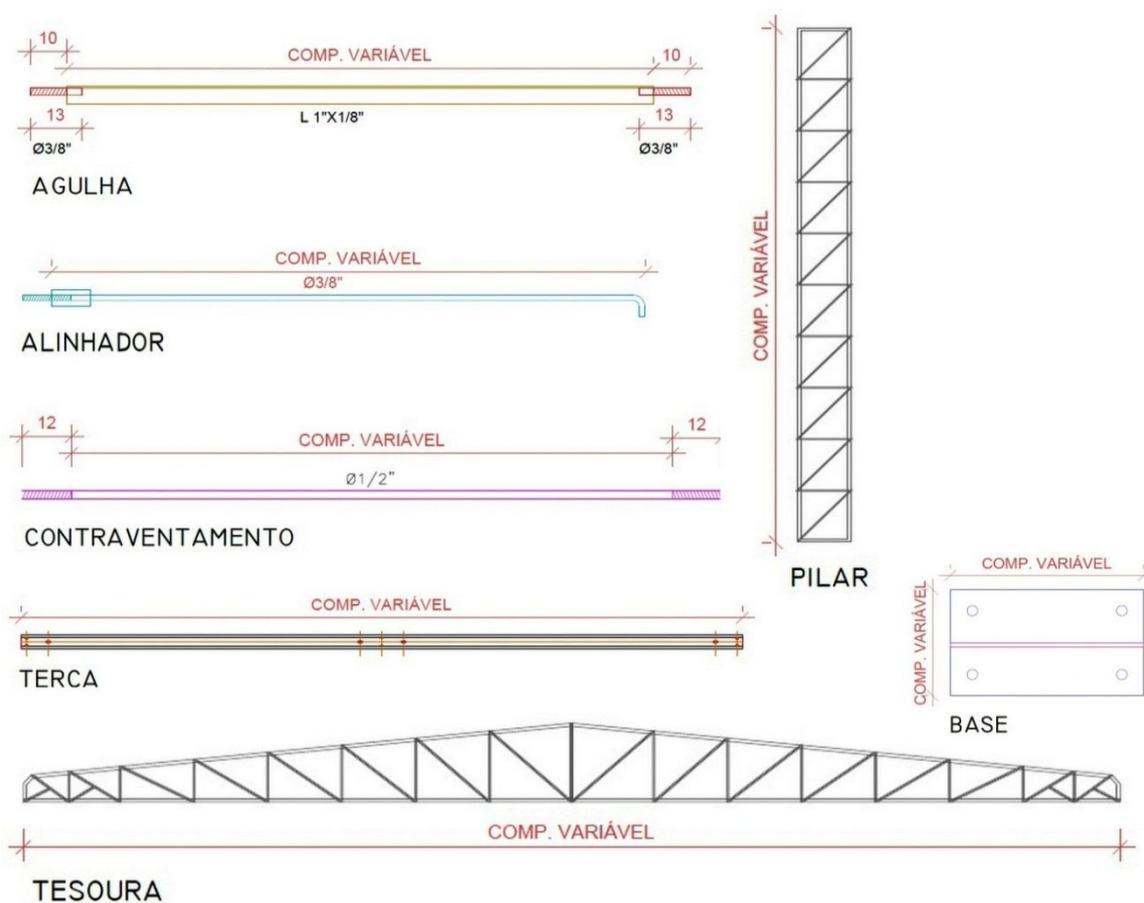


Figura 20 – Esquema dos produtos fabricados
Fonte: Autor, 2013.

A figura 21 apresenta um esquema da localização de cada produto fabricado na estrutura metálica.

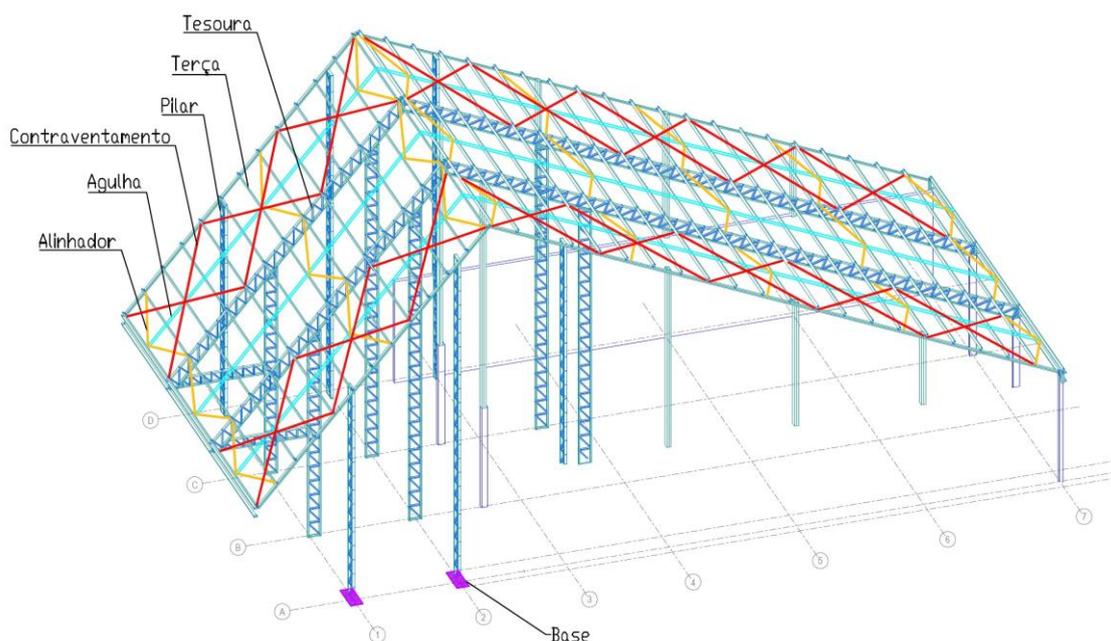


Figura 21 – Esquema da localização na estrutura dos produtos fabricados
Fonte: Acervo da Fábrica, 2013.

4.1.3 Arranjo Físico Atual

O arranjo físico atual da empresa é o funcional ou por processo, no qual os equipamentos são agrupados segundo sua função. Este tipo de arranjo é viável para o ramo de atividade da fábrica, visto que os produtos fabricados possuem alta variabilidade, tornando a demanda imprevisível.

Para a elaboração no *layout* atual da empresa, que pode ser visualizado na figura 22, foi realizada a medição da área das atividades e da planta fabril. Cada setor foi designado com um número de acordo com a tabela 1.

Número	Setor	Número	Setor/Atividade
1	Estoque de chapas	9	Mesa para emendar
2	Estoque de barras	10	Pré-montagem
3	Corte serra	11	Decapante
4	Plasma	12	Secagem
5	Ponteamto	13	Limpeza
6	Solda	14	Pintura
7	Tarracha	15	Estoque de produtos acabados
8	Prensa	16	Expedição

Fonte: Autor, 2013.

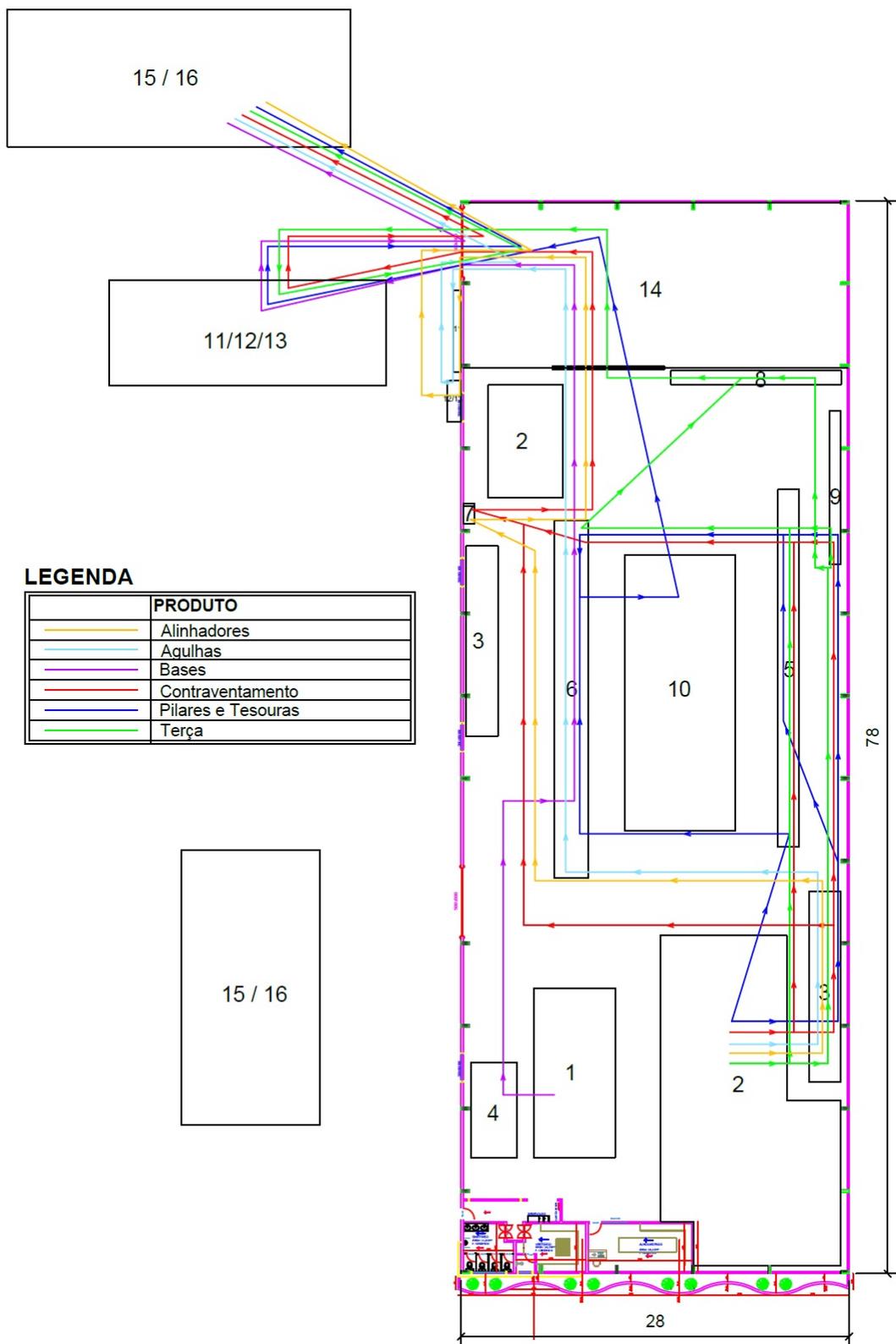


Figura 22 – Layout atual
Fonte: Autor, 2013.

4.1.4 Análise da Situação Atual

Os desperdícios ou problemas encontrados devido ao atual arranjo físico foram:

- **Movimentação excessiva de peças:** há uma movimentação excessiva das peças devido a grande distância entre postos de trabalho que precisariam estar próximos. Como a maioria dos componentes da estrutura metálica possuem grandes dimensões e elevado peso, necessitam de equipamentos especiais para o transporte, como empilhadeiras. Assim, o transporte desnecessário causa inúmeros desperdícios inerentes.
- **Utilização de empilhadeiras:** o transporte das peças é realizado através de empilhadeiras. Porém, só existe uma empilhadeira na fábrica, gerando espera entre os processos.
- **Estoques intermediários:** o transporte excessivo e a falta de mais equipamentos para o mesmo gera estoques de produtos inacabados ao longo do processo produtivo.
- **Falta de faixas de segurança:** não existe nenhuma demarcação de corredor para fluxo de pessoas nem mesmo de materiais, podendo ocasionar acidentes de trabalho.
- **Cruzamento de fluxos:** há grande cruzamento de fluxos entre os processos devido à locação de equipamentos e máquinas e também à grande movimentação de produtos.
- **Dificuldade da gestão visual:** como há fluxos cruzados, transporte desnecessário e excessivo, e má alocação de postos de trabalhos, torna-se difícil a visualização das atividades no chão-de-fábrica, dificultando o gerenciamento.

4.2 APLICAÇÃO DO SLP

O projeto de arranjo físico da fábrica será elaborado de acordo com a sequência proposta pelo modelo de construção SLP.

4.2.1 Dados de Entrada

Inicialmente, o modelo sugere a coleta dos seguintes dados de entrada: produto, quantidade, roteiro, serviços de suporte e tempo. Os dados coletados na fábrica estão descritos a seguir.

4.2.1.1 Produto (P)

A empresa fabrica estruturas metálicas leves e pesadas, sendo que as mesmas são constituídas de terças, alinhadores, contraventamentos, agulhas, tesouras, pilares e bases. A matéria-prima utilizada são perfis de Aço ASTM A-36 e COR 300. Porém, há possibilidade de usar outro aço se a obra solicitar.

O vão máximo produzido na fábrica são tesouras de até 40,00 metros de largura sem apoio, visto que estas são divididas em duas partes de 20m e podem ser manuseadas ao longo do processo produtivo na fábrica.

4.2.1.2 Quantidade (Q)

A fábrica utiliza cerca de 100 toneladas por mês de aço para produção da demanda, segundo análise de compras do último ano.

4.2.1.3 Roteiro (R)

Para a determinação do roteiro de produção, foram elaborados fluxogramas da produção, com o fluxo em porcentagem da quantidade de material que percorre cada caminho possível. Esses fluxogramas podem ser visualizados nas figuras 24, 26, 27, 34, 35, 37 e 38.

Assim que o material chega à fábrica e os projetos estão detalhados, inicia-

se a fabricação dos componentes da estrutura.

A fabricação, geralmente, começa pelas bases dos pilares, pilares, contraventamento, tesouras, terças, agulhas e alinhadores. Porém, a ordem será determinada pelo encarregado de produção conforme a disponibilidade dos funcionários, da linha de produção e do estudo do projeto.

Toda a matéria-prima (perfis e barras) que chega à fábrica fica no setor de estoque aguardando para ser processada. Os componentes da obra de estrutura metálica foram agrupados de acordo com a sequência de produção e estão descritos a seguir.

4.2.1.3.1 Bases

As bases (figura 23) são utilizadas na sustentação dos pilares metálicos com a fundação. São fabricadas na máquina de corte de chapas, chamada Plasma (figura 25), a qual utiliza calor para realizar o corte. As chapas são especificadas em projeto e os desenhos são passados para a máquina para que o corte seja perfeitamente conforme projeto. Posteriormente cortadas, as chapas são soldadas nos pilares para serem ligadas nos chumbadores e seguem no sistema fabril de acordo com a figura 23.



Figura 23 – Bases
Fonte: Autor, 2013.

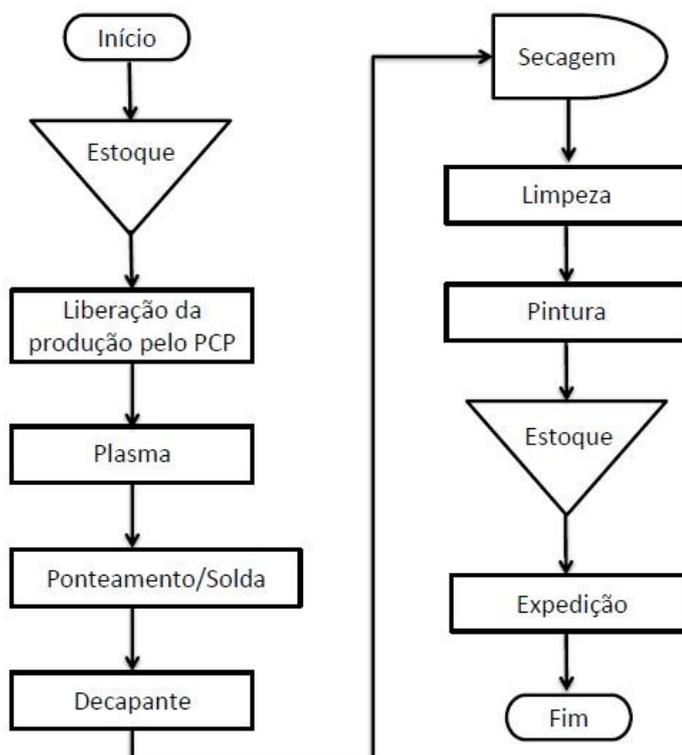


Figura 24 – Fluxograma de produção das bases
Fonte: Autor, 2012.

A figura 25 mostra a máquina chamada Plasma realizando o corte de uma chapa pré-desenhada.



Figura 25 – Plasma
Fonte: Autor, 2013.

4.2.1.3.2 Pilares e tesouras

Os fluxogramas de produção dos pilares e as tesouras estão descritos nas figuras 26 e 27, respectivamente, e possuem, praticamente, o mesmo processo de fabricação. A única diferença é em relação à quantidade de material que é maior que 6,00m (tamanho de uma barra comercial). Ou seja, enquanto 50% da fabricação dos últimos meses foram de pilares maiores que seis metros, sendo a outra metade menor, as tesouras foram, em 90% dos casos, maiores ou iguais a seis metros. Esta porcentagem se dá devido as estruturas metálicas possuírem capacidade de alcançar grandes vãos sem a necessidade de apoio, diferentemente das estruturas convencionais.

A fabricação das tesouras e dos pilares inicia-se pela produção do gabarito da peça, e posteriormente as demais peças são fabricadas em cima deste gabarito. A etapa inicial é verificar se a peça a ser fabricada possui dimensão maior ou menor que seis metros. Se possuir exatamente seis metros ou múltiplo, não há necessidade de corte, visto que as barras já são compradas com essa dimensão. Sendo assim, estas são levadas para a mesa de emendar onde recebem pequenos pontos de solda, para poder continuar o processo produtivo. Se caso a peça a ser fabricada for maior que seis metros e seu tamanho não for múltiplo de seis, ou se for menor que seis metros, a barra segue para o corte mecânico na máquina chamada Serra (figura 28). Após todos os perfis estarem cortados na medida exata especificada no projeto, é realizado o ponteamto da estrutura (figura 29) e posteriormente a solda (figura 30). A solda é do tipo MIG. Após, são lixados os resíduos da solda com uma lixadeira manual. A etapa seguinte é a pré-montagem na qual a estrutura é montada nos pontos em que o alinhamento precisa estar extremamente correto.

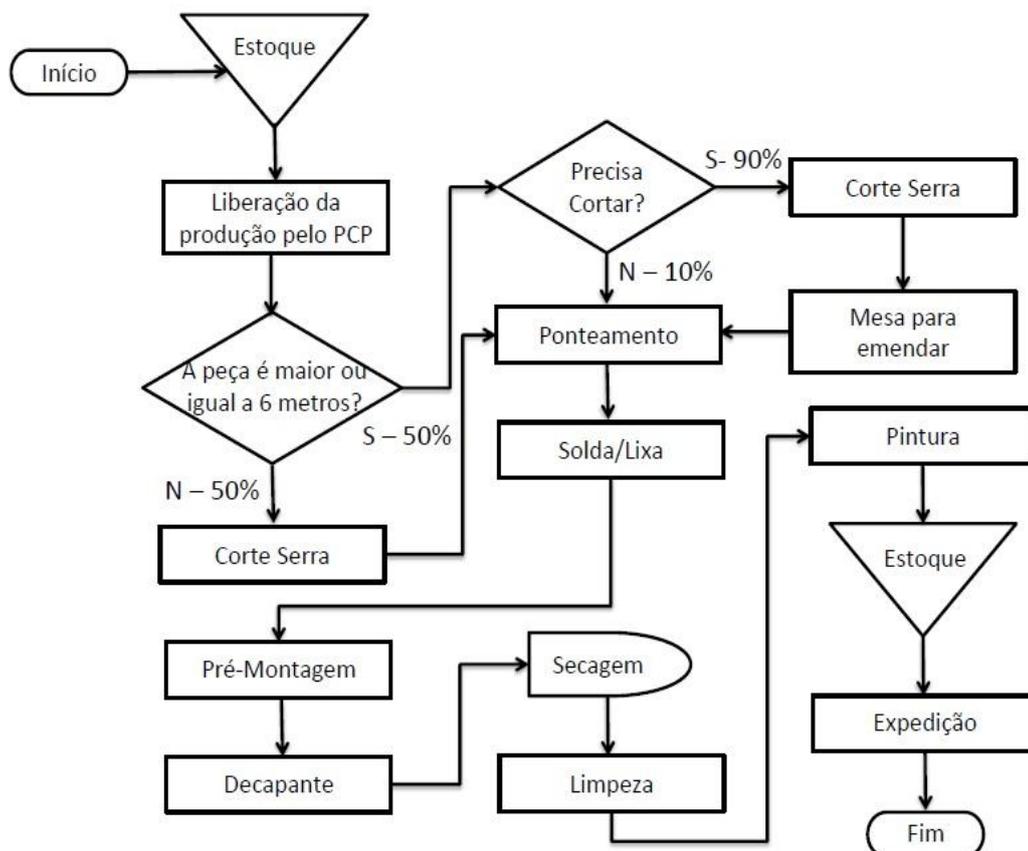


Figura 26 – Fluxograma de produção dos pilares
 Fonte: Autor, 2012.

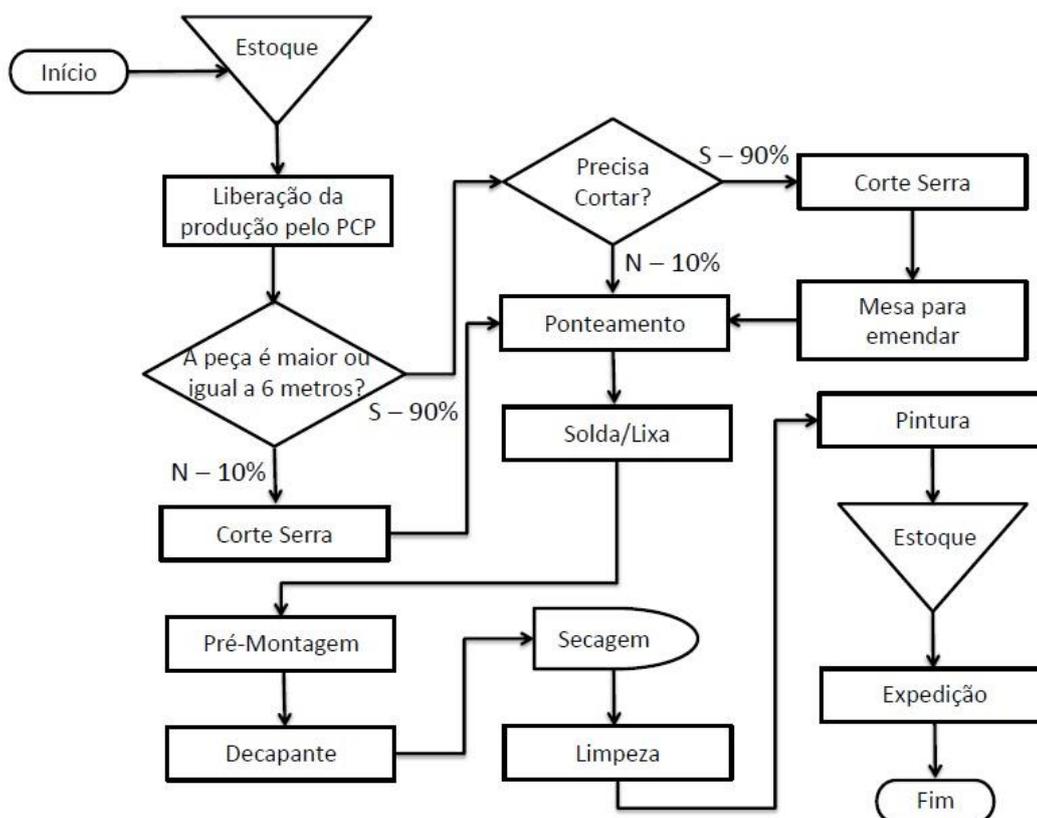


Figura 27 – Fluxograma de produção das tesouras
 Fonte: Autor, 2012.



Figura 28 – Corte Serra
Fonte: Autor, 2013.



Figura 29 – Ponteamento
Fonte: Autor, 2013.



Figura 30 – Solda
Fonte: Autor, 2013.

Após a pré-montagem, a estrutura é desmontada para prosseguir com as etapas de processamento. As peças seguem para a limpeza com decapante. Porém, como os componentes da estrutura possuem grandes dimensões, o decapante não é realizado com banhos e sim aplicado com um pano, deixando agir por um tempo para posterior limpeza manual. Após, os elementos prosseguem para o setor da pintura (figura 31), onde recebem tinta epóxi quando a obra estiver em um ambiente agressivo que cause corrosão, ou somente um fundo vermelho, quando o ambiente não for corrosivo. Quando o cliente solicitar que a estrutura necessite do processo de galvanização, o mesmo é realizado por meio de empresas terceirizadas.

Após a secagem da tinta, as peças são encaminhadas para o estoque de produtos acabados (figura 32), para aguardar a expedição (figura 33).



Figura 31 – Pintura
Fonte: Autor, 2013.



Figura 32 – Estoque de produtos acabados
Fonte: Autor, 2013.



Figura 33 – Expedição
Fonte: Autor, 2013.

4.2.1.3.3 *Contraventamento e alinhadores*

O processo de fabricação dos contraventamentos e alinhadores possuem o processo de fabricação descrito nas figuras 34 e 35, respectivamente.

Os contraventamentos podem ter dimensão maior que 6 metros (comprimento da barra), exigindo que a peça seja emendada com outra para complementar o comprimento total. Os alinhadores nunca terão mais que 6 metros, visto que o vão entre pilares geralmente é de 5 metros e a peça vai de terça à terça (que possui distancia máxima de 1,50m para telhas metálicas). Desta forma, os alinhadores, possuem comprimento menor que três metros. Após essa análise do tamanho do componente, as peças seguem para o processo de corte serra (quando menor que 6m) ou para emenda ou ponteamento e posterior solda. Estes processos já estão representados nas figuras 29 e 30. O restante do processo também é semelhante ao dos pilares e das tesouras. O diferencial é que os contraventos e alinhadores passam pelo equipamento chamado tarracha (figura 36), que forma a “rosca” para serem rosqueados na estrutura.

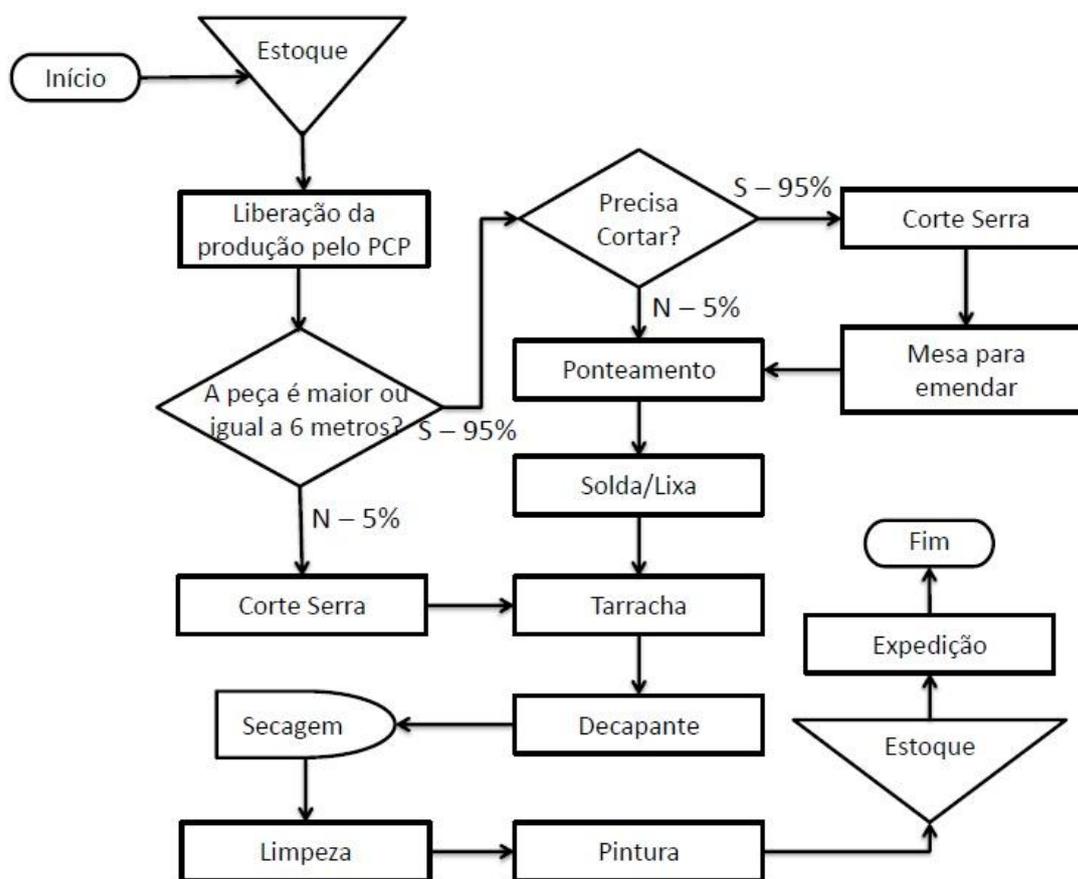


Figura 34 – Fluxograma de produção dos contraventamentos
 Fonte: Autor, 2012.

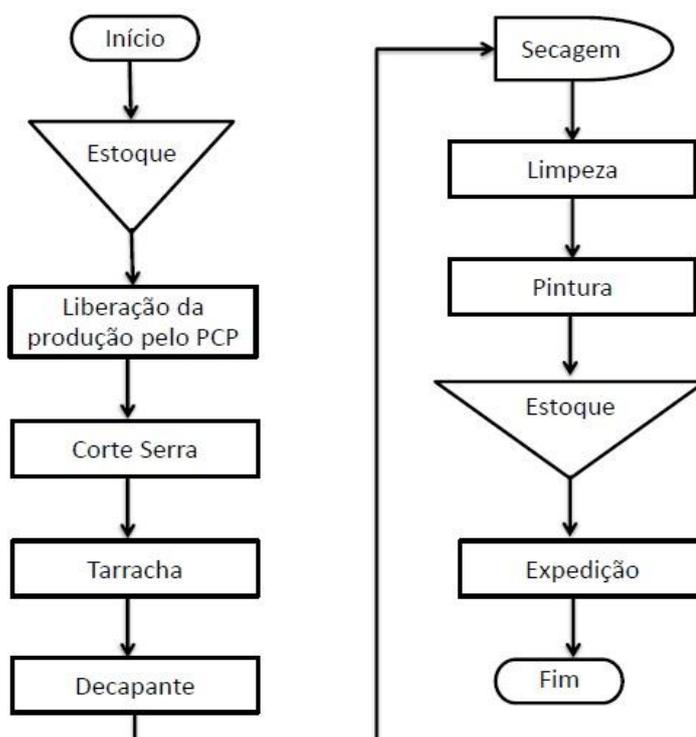


Figura 35 – Fluxograma de produção dos alinhadores
 Fonte: Autor, 2012.



Figura 36 – Tarracha
Fonte: Autor, 2012.

4.2.1.3.4 Agulhas

O fluxograma de produção das agulhas está representado na figura 37. É um processamento rápido e fácil que já foi descrito nos itens acima.

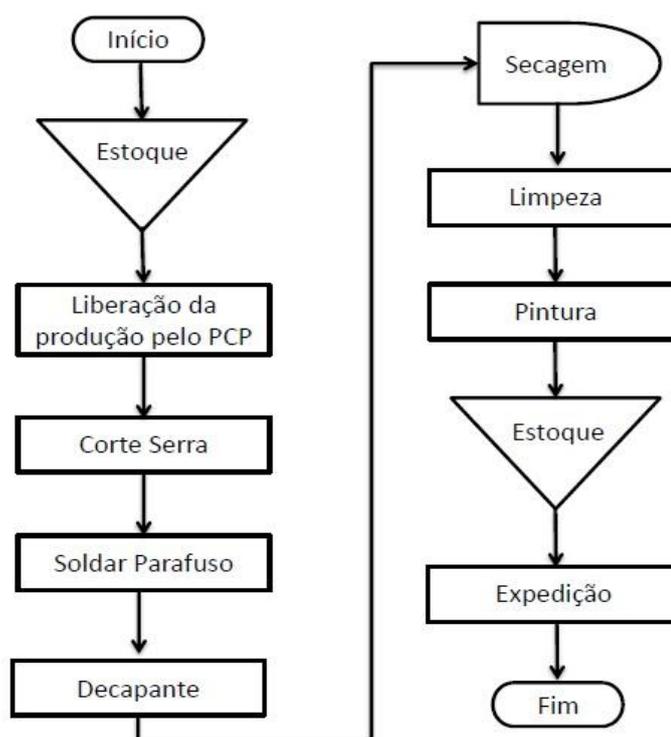


Figura 37 – Fluxograma de produção das agulhas
Fonte: Autor, 2012.

4.2.1.3.5 Terças

As terças são processadas conforme a figura 38. O início de sua fabricação também é a análise do tamanho da mesma. Na maioria dos casos elas nunca superam 6m, porém, quando necessário precisam ser emendadas e soldadas. Quase todos os processos também já foram representados neste trabalho. O diferencial produtivo das terças é que elas passam pela Prensa (figura 39), que realiza as furações especificadas em projeto. As furações possuem padrão de acordo com o perfil da terça e podem ser visualizadas na figura 40.

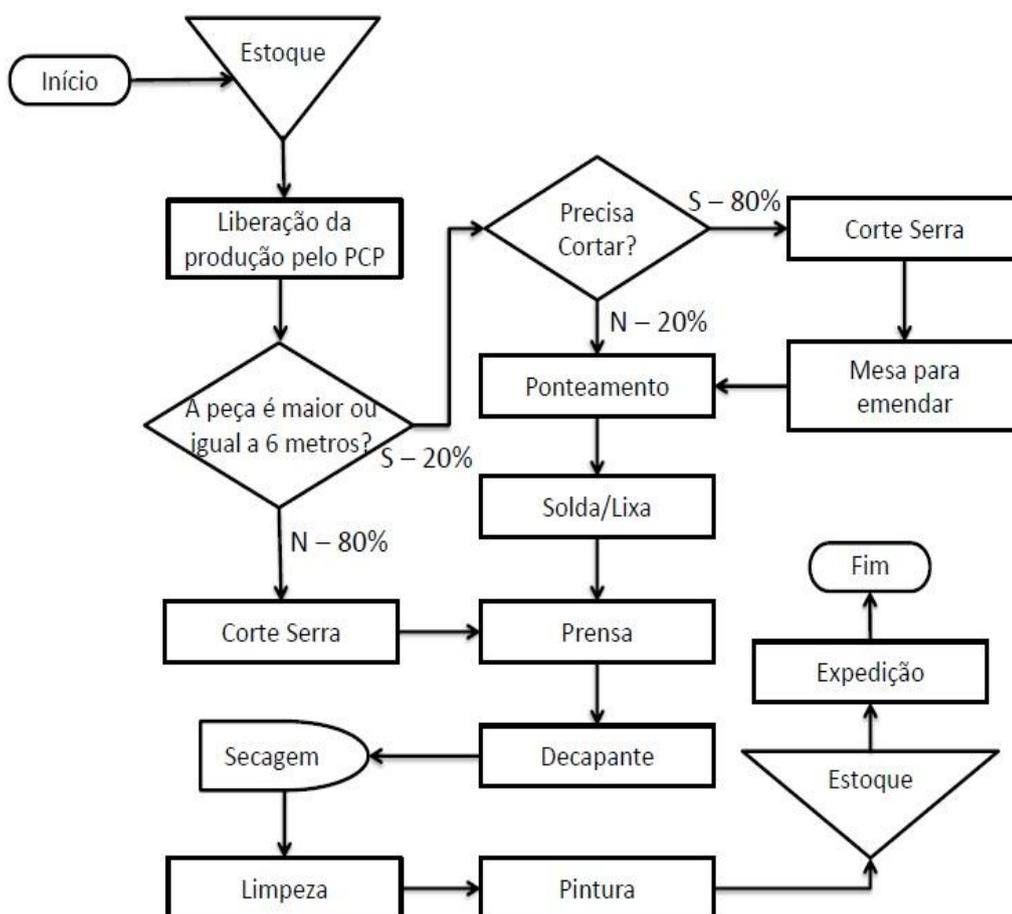


Figura 38 – Fluxograma de produção das terças
 Fonte: Autor, 2012.



Figura 39 – Prensa
Fonte: Autor, 2012.



Figura 40 – Furação nas terças
Fonte: Autor, 2012.

4.2.1.4 Serviços de suporte (S)

Na empresa, existe o setor de compras, de projetos, financeiro e RH. A administração da produção fica destinada ao encarregado e ao proprietário. Esses setores não são considerados neste trabalho, visto que ficam alocados no escritório, na parte externa da fábrica. Os vestiários e sanitários também não são considerados, pois já existem na edificação e suprem a necessidade solicitada.

4.2.1.5 Tempo (T)

Segundo entrevistas com funcionários, o tempo necessário para a fabricação para cada produto está descrito na tabela 2. Este tempo é médio, pois para alguns itens são fabricados gabaritos que demandam mais tempo.

Tabela 2 – Tempo de fabricação dos produtos

<i>Produto fabricado</i>	<i>Tempo (minutos)</i>
Agulhas	20
Alinhadores	20
Bases	30
Contraventamentos	40
Pilares	180
Terças	40
Tesouras	180

Fonte: Autor, 2013.

4.2.2 Fluxo de Materiais

Para identificar o fluxo de materiais das áreas envolvidas, foram utilizados fluxogramas, demonstrados nas figuras 24, 26, 27, 34, 35, 37 e 38.

4.2.4 Diagrama de Inter-Relações

Para integrar o fluxo dos materiais com a avaliação das interligações preferenciais, um diagrama de inter-relações mostrou-se necessário. Este está representado na figura 42.

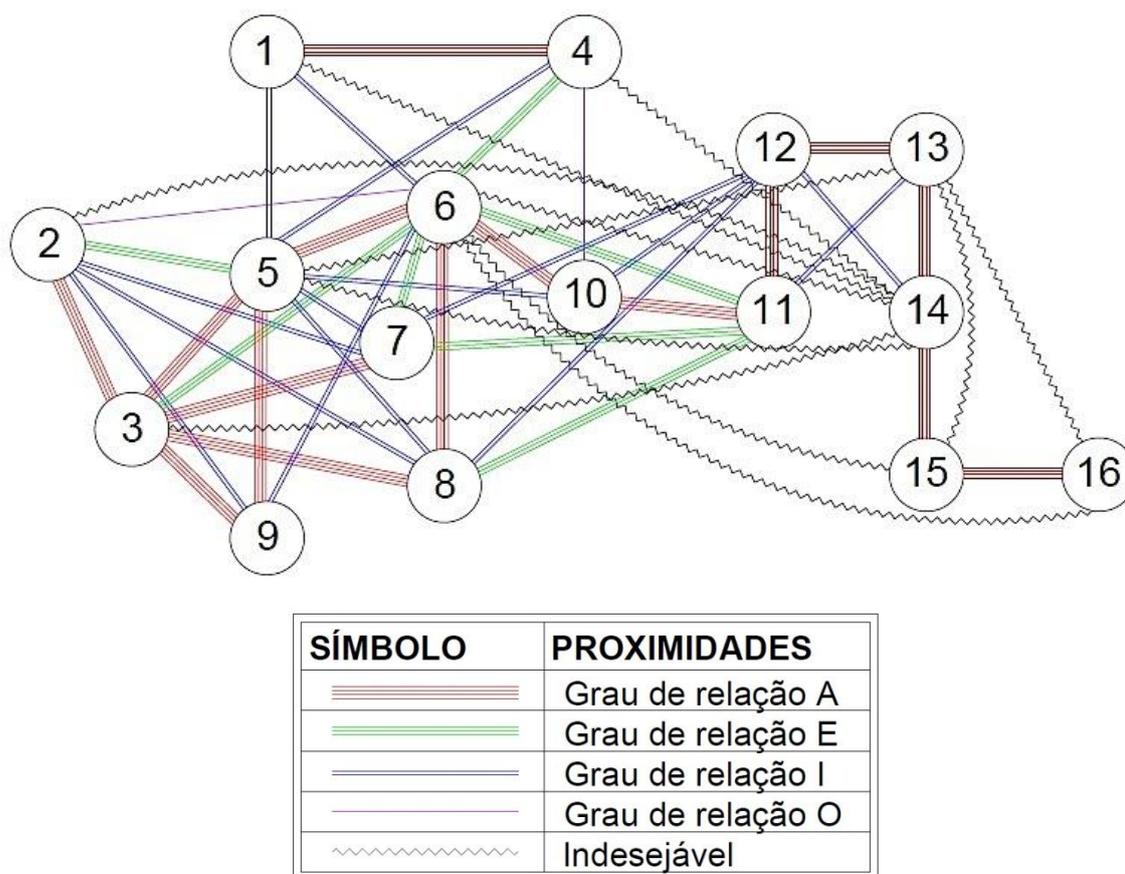


Figura 42 – Diagrama de inter-relações
Fonte: Autor, 2013.

Com o diagrama, é possível determinar de maneira rápida e simples, quais atividades necessitam ficar próximas ou distantes entre si, criando uma proposta de arranjo inicial. No diagrama, primeiramente são ligadas as atividades que possuem grau de relação A, seguidas do grau E, I, O e por último as que não devem estar próximas. As atividades com grau de relação U não precisam ser representadas, visto que sua proximidade não possui importância.

4.2.5 Espaço Necessário x Espaço Disponível

O espaço necessário para locação das atividades do diagrama de inter-relações foi identificado fazendo a medição das máquinas e da área utilizada pelo funcionário para manusear a mesma. Para a determinação do espaço para alocação dos funcionários nos equipamentos também foi considerada análises e entrevistas com os funcionários, pois muitas atividades necessitavam de mais espaço em relação à área que possuíam no *layout* atual. A tabela 3 apresenta a soma dos espaços requeridos (máquina mais trabalhador) para cada atividade. As áreas da passagem de decapante, secagem e limpeza foram agrupadas, visto que as atividades se dão no mesmo local. Para o cálculo da área de circulação necessária, foi adotado uma média de quatro corredores de 3,00m ao longo da extensão da produção até o setor de pinturas (60,00), resultando em 720,00m² de circulação.

A área destinada ao estoque de matérias primas foi reduzida, visto que no *layout* atual ela ocupava grande parte da edificação. A nova área foi estimada em conversa com o proprietário da empresa, que concordou que a compra do material para cada obra pode ser realizada em partes.

Tabela 3 – Espaço necessário para cada atividade

Atividade	Setor	Área (m²)
1	Estoque de chapas	50,00
2	Estoque de barras	220,00
3	Corte Serra	35,00
4	Plasma	43,20
5	Ponteamento	70,00
6	Solda	70,00
7	Tarracha	7,20
8	Prensa	24,60
9	Mesa para emendar	36,00
10	Pré-montagem	200,00
11/12/13	Tanque de decapante + secagem + limpeza	22,50
11/12/13	Decapante, secagem, limpeza	154,00
14	Pintura	330,00
15/16	Estoque de produto acabado e expedição	650,00
-	Circulação pessoas e materiais	720,00
Total		2.632,50

Fonte: Autor, 2013.

Não foram identificadas necessidades especiais para as atividades, visto que o barracão já construído possui fácil adaptação das mesmas em toda sua área

útil. A área total requerida é de, aproximadamente, 2.632,50m². O barracão de 28,00 x 78,00m possui 2.184,00 m² de área total e 2.120,00m² de área útil disponível para a fabricação, visto que a área restante destina-se aos vestiários, sanitários e almoxarifado. Desta forma, para suprir as áreas requeridas, há necessidade de ampliação do barracão para cerca de 512,50m² para que todas as atividades se desenvolvessem na parte interna da unidade produtiva. Como o barracão possui 28,00m de largura, a área a ser passível de ser ampliada são quatro vãos de cinco metros.

4.2.6 Diagrama de Inter-Relações de Espaços

Após o estudo dos espaços, bem como a inter-relação entre cada atividade, um *layout* inicial pode ser proposto através da relação de espaços. Para tal, foram dispostos graficamente os espaços necessários para cada atividade, representado na figura 43. Com o esboço, é possível visualizar melhor um possível arranjo e, a partir desta proposta inicial, ir adequando os espaços necessários no espaço disponível (planta fabril), buscando melhorias no processo.

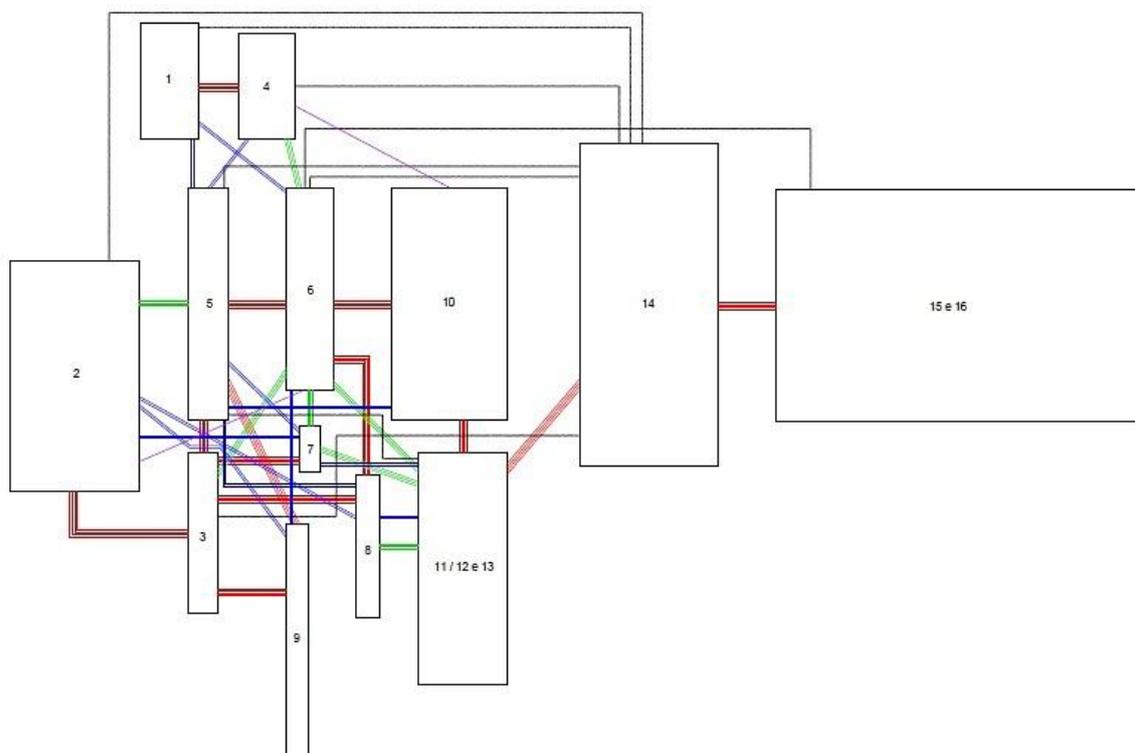


Figura 43 – Diagrama de inter-relações de espaço
Fonte: Autor, 2013.

4.2.7 Considerações de Mudanças

Comparando o *layout* atual (figura 22), com o inicial proposto (figura 43), é notório que a disposição física das atividades está bastante distinta, havendo necessidade de mudanças.

Nas duas propostas de *layout* (atual e inicial), há concentração de fluxo entre as atividades de corte serra, ponteamto e solda, visto que são os mais solicitados, sendo utilizados por praticamente todos os produtos fabricados. Desta forma, um *layout* híbrido pode trazer vantagens, distinguindo o fluxo entre os produtos mais pesados (tesouras e pilares), dos mais leves (agulhas, alinhadores e contraventamentos). Haverá compartilhamento dos equipamentos, situados em localização estratégica, quando necessário, a fim de atender todos os fluxos sem que haja cruzamento entre eles.

Outra mudança a ser considerada é adequar o *layout* funcional atual, de forma a aproximar as atividades que necessitam estar próximas, gerando ordem no sistema produtivo.

A ampliação também pode ser considerada uma mudança viável, pois diminuiria o fluxo cruzado no setor de pinturas, além de alocar no interior da fábrica as atividades que atualmente estão no exterior, sendo degradadas por intempéries.

4.2.8 Limitações Práticas

Um *layout* celular pode vir acarretar a necessidade de duplicação de equipamentos, aumentando o custo para sua aplicação e a área útil necessária. Um *layout* híbrido, com posições estratégicas dos equipamentos pode ser mais adequado por não necessitar deste tipo de investimento.

Em entrevista com o proprietário da empresa, foi consentido a ideia de ampliação da unidade fabril, visto que a demanda só tende a crescer e as dimensões do terreno propiciam esse crescimento.

4.2.9 Alternativas Propostas

Com base no diagrama de inter-relações de espaços, a área para cada atividade foi ajustada na planta fabril e, juntamente com as considerações de mudanças, foram criadas três propostas de *layout* que podem ser visualizadas nas figuras 44, 45 e 46.

A primeira proposta, chamada de *Layout A* (figura 44), limitou-se a realocar as áreas necessárias na planta fabril, considerando o diagrama de espaços. Nessa proposta, não foi considerada a ampliação, mantendo assim os setores de decapante, limpeza e secagem no exterior da fábrica. As mudanças, portanto, foram na locação das atividades e na abertura de mais um portão para entrada e saída de produtos na lateral da fábrica.

Na segunda proposta, chamada de *Layout B* (figura 45) foi considerada a possibilidade de um arranjo híbrido, disseminando os fluxos das atividades de ponteamto e solda, sem a necessidade de duplicação de equipamento, apenas realocando as máquinas MIG. A máquina de corte serra também foi alocada em um ponto chave para atender as necessidades da produção. Nessa opção de *layout*, há uma célula de produção para produtos de pequeno porte e outra para produtos de grande porte, porém, as mesmas células compartilham algumas atividades. A proposta de ampliação também foi adotada, para que o estoque de produtos acabados e a expedição ficassem cobertos, evitando o desgaste natural das peças se expostas às intempéries.

Na terceira proposta, chamada *Layout C* (figura 46), as atividades foram alocadas seguindo, basicamente, o diagrama de inter-relação de espaços. Porém, a proposta de ampliação foi considerada, passando as atividades de decapante, secagem e limpeza, estoque de produtos acabados e expedição para o interior da fábrica, protegendo-os das intempéries.

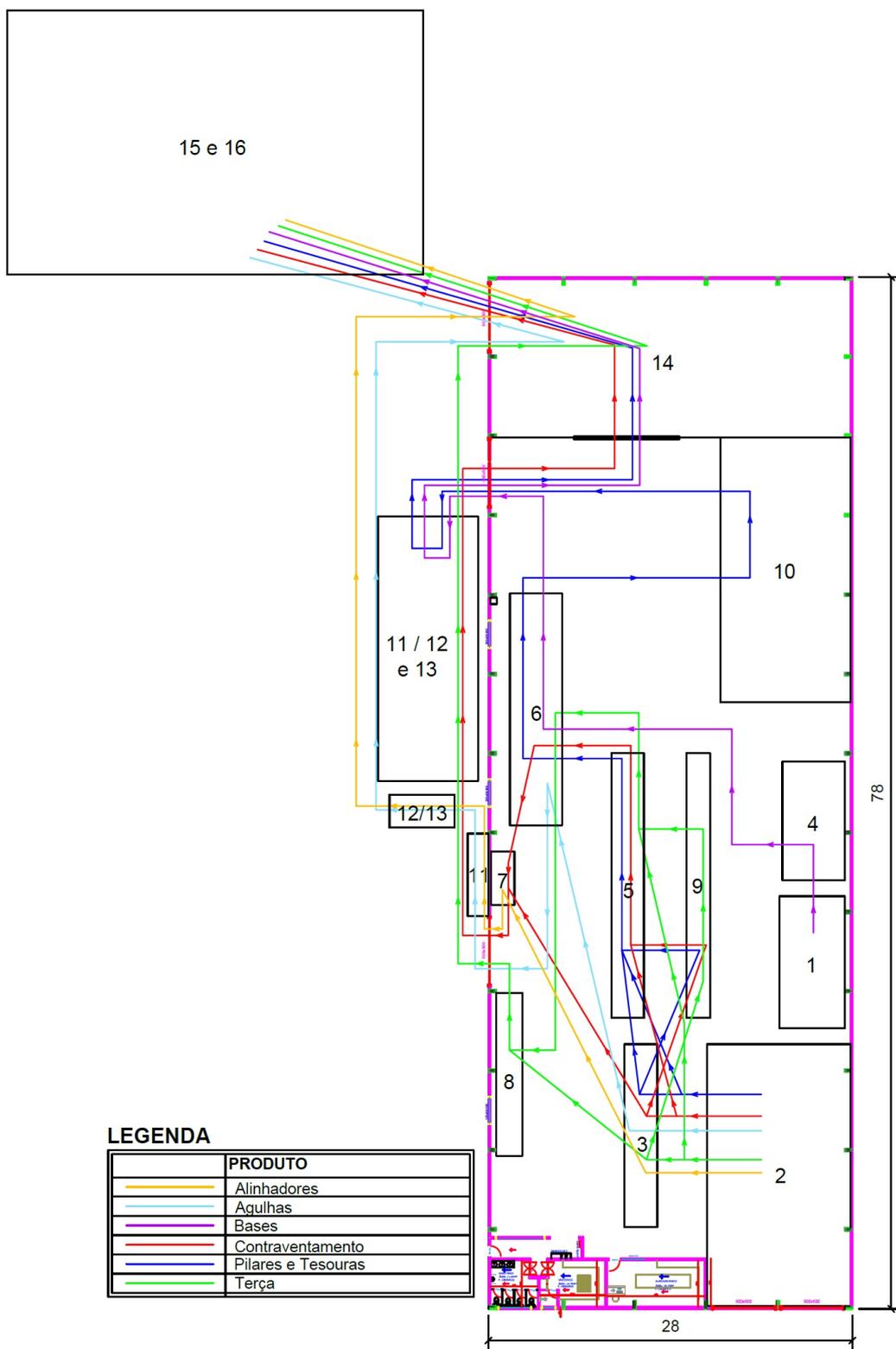


Figura 44 – Layout A
Fonte: Autor, 2013.

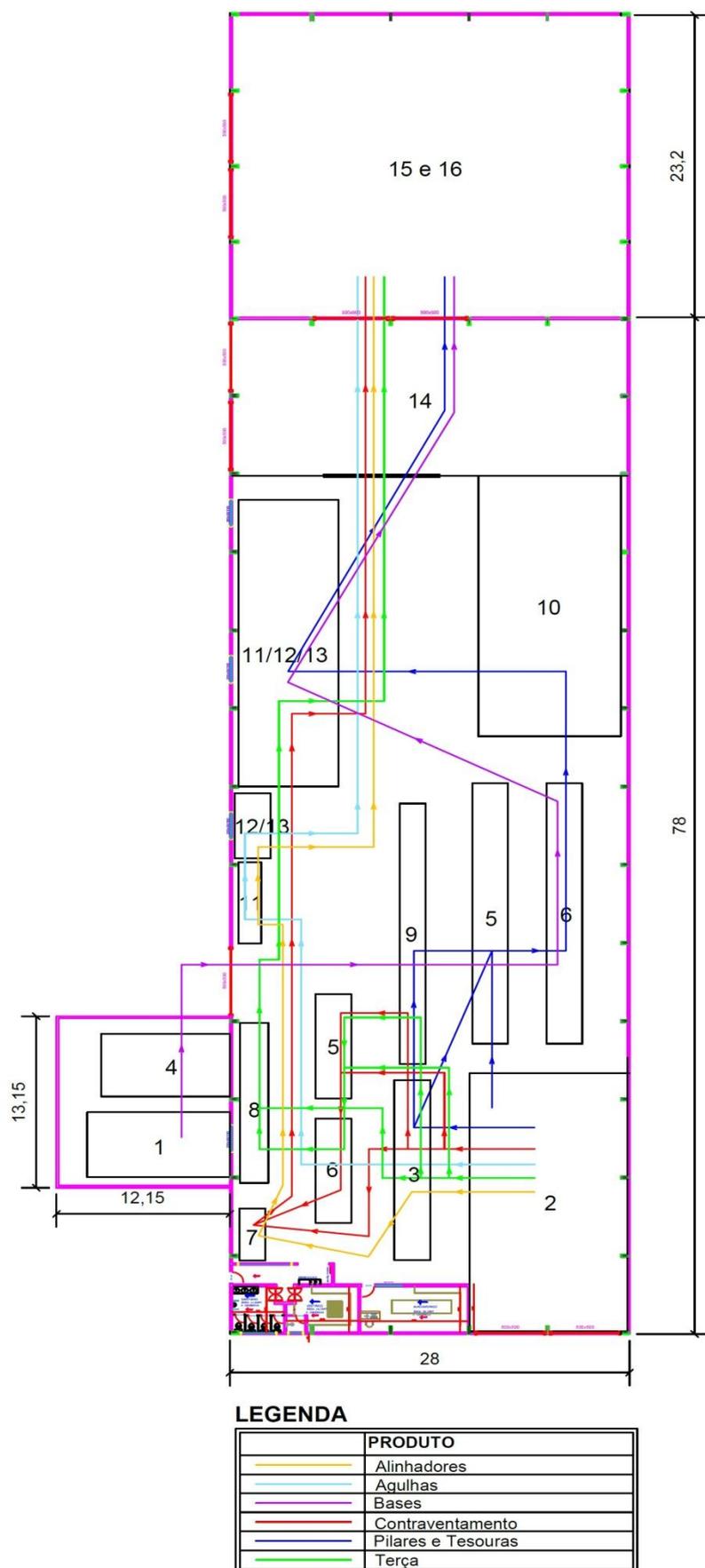
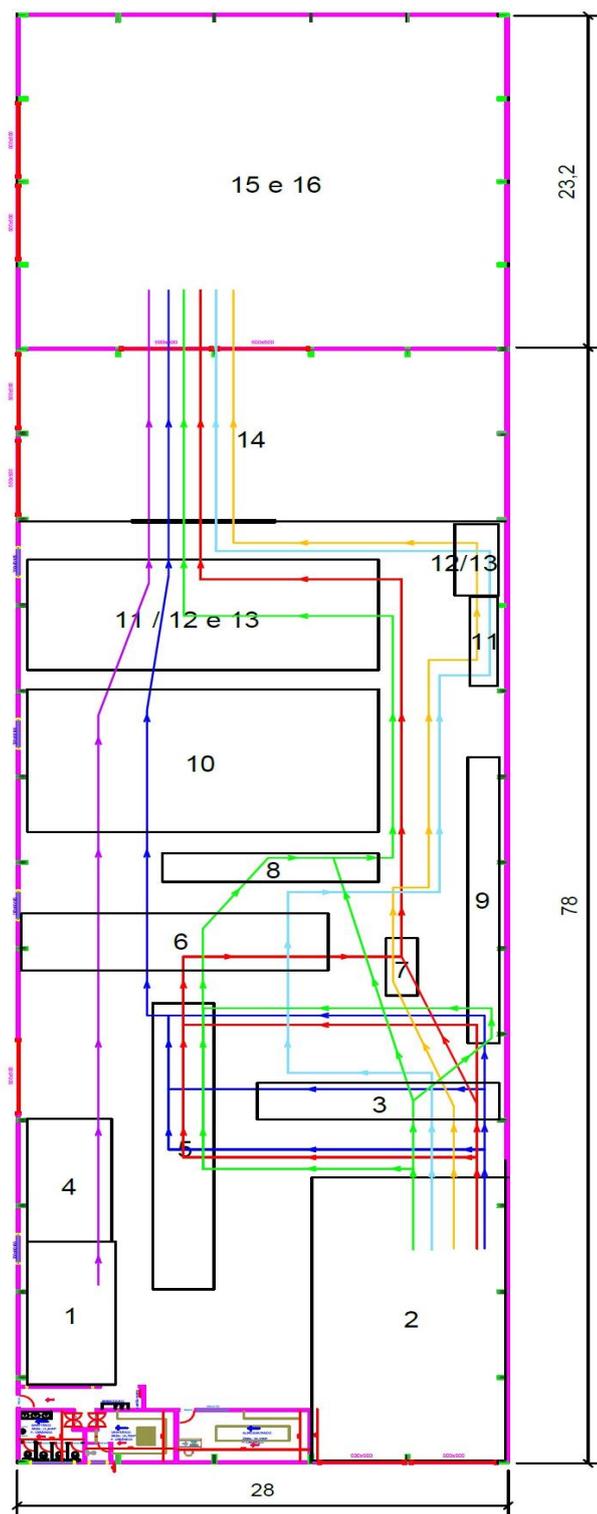


Figura 45 – Layout B
Fonte: Autor, 2013.



LEGENDA

	PRODUTO
	Alinhadores
	Agulhas
	Bases
	Contraventamento
	Pilares e Tesouras
	Terça

Figura 46 – Layout C

Fonte: Autor, 2013.

4.2.10 Avaliação das Alternativas

Os arranjos físicos foram avaliados utilizando como fatores ponderados os conceitos de *layout* da Produção Enxuta descritos no item 2.4 deste trabalho: movimentação, fluxo contínuo, gestão visual, flexibilidade, estoques, qualidade, multifuncionalidade e nível de complexidade.

Para análise do critério de movimentação, foram traçados os Diagramas de *Spaghetti* de cada produto nas propostas e na situação atual. Para os produtos que possuem mais de um caminho possível para percorrer no processo produtivo, foi realizada uma média ponderada, atribuindo pesos de acordo com a porcentagem de fluxo de material que percorre o caminho. A somatória das distâncias multiplicadas pelos seus respectivos pesos e divididas pela soma destes resulta na distância percorrida mais expressiva, representada na tabela 4.

Tabela 4 – Distâncias físicas percorridas pelos produtos
Distâncias (m)

Produto	Layout atual	Layout A	Layout B	Layout C
Alinhadores	160,00	133,80	106,00	86,40
Agulhas	135,30	151,20	96,30	102,50
Bases	131,00	130,00	107,30	70,00
Contraventamento	156,40	151,65	122,20	106,30
Pilares	178,60	173,50	104,20	85,00
Terças	155,30	133,20	100,90	87,30
Tesouras	168,80	175,85	104,95	85,00
Total	1085,40	1049,20	741,85	622,50

Fonte: Autor, 2013.

Nos demais critérios, a análise foi realizada juntamente com o encarregado da produção e com o proprietário da empresa, caracterizando uma etapa subjetiva.

Os pesos para cada critério foram determinados de acordo com as prioridades da empresa. Para classificar cada arranjo físico quanto sua eficiência em relação aos critérios propostos, foi utilizada a classificação proposta pelo método SLP: (A) Excelente = 4; (E) Ótimo = 3; (I) Bom = 2; (O) Regular = 1.

A avaliação das alternativas (tabela 5) demonstrou que o *layout C* é considerado mais eficiente, dentro dos conceitos analisados.

Tabela 5 – Avaliação do layout

<i>Fatores ponderados</i>	<i>Peso</i>	<i>Layout Atual</i>		<i>Layout A</i>		<i>Layout B</i>		<i>Layout C</i>	
Movimentação	10	O	10	I	20	E	30	A	40
Fluxo Contínuo	10	O	10	I	20	A	40	A	40
Gestão Visual	7	I	14	I	14	A	28	E	21
Flexibilidade	8	E	24	E	24	I	16	E	24
Estoques	5	O	5	I	10	E	15	E	15
Qualidade	4	O	4	I	8	E	12	A	16
M.O. multifuncional	5	O	5	E	15	E	15	E	15
Complexidade	6	I	12	I	12	E	18	I	12
<i>Total</i>		84		123		174		183	

Fonte: Autor, 2013.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com as propostas de *layouts* elaboradas através do método SLP, percebe-se que o arranjo físico atual da empresa não promove a eficiência do fluxo produtivo, visto que apresenta a menor pontuação na avaliação das alternativas e possui a maior movimentação de produtos. Para as estruturas metálicas, uma movimentação eficiente com fluxo suave é primordial, visto que possuem componentes de alto peso e grandes dimensões, difíceis de serem transportadas.

O *layout* A apresentou pontuação superior ao *layout* atual, porém a movimentação das peças foi reduzida em menos de 5% deste. Este dado resulta da localização de algumas atividades no exterior da fábrica, interrompendo o fluxo do processo e gerando transporte desnecessário. Na proposta, não foi considerada a ampliação, e por isso algumas atividades permaneceram no exterior da fábrica. O modelo, portanto, não necessita de investimentos, sendo esta sua única vantagem.

O *layout* B resultou em pontuação e movimentação próxima ao do *layout* C, tornando-o competitivo. Neste *layout* foi considerada a ampliação e, portanto, o fluxo tornou-se contínuo. Foram criadas células de produção para os produtos leves e outra para os produtos mais pesados, porém com características de *layout* funcional, aproximando-o de um *layout* híbrido. O modelo possui como principal vantagem a gestão visual e baixa complexidade da produção. Porém, a determinação dos locais das células faz com que a flexibilidade diminua.

Entre os modelos propostos de *layout*, o que obteve maior pontuação segundo os critérios da Produção Enxuta foi o *Layout* C. Este modelo apresenta um arranjo físico baseado no diagrama de inter-relação de espaço. O arranjo é funcional, ideal para empresas com produtos de alta variabilidade, como é o caso da fábrica de estruturas metálicas estudada, visto que os componentes da estrutura possuem variadas dimensões. A proposta considerou ainda uma ampliação na unidade fabril de 560,00m². Apesar do investimento, a ampliação é apropriada, pois com ela a movimentação total das peças reduziu cerca de 40% quando comparada à proposta A, que não possui ampliação. Além disso, a ampliação protege das intempéries as atividades que antes estavam no exterior da fábrica.

Além da alteração do arranjo físico, outras sugestões de melhoria para o

processo produtivo é a utilização de pontes rolantes para o transporte das peças e a delimitação da área dos corredores de pessoas e mercadorias. Atualmente, o transporte é efetuado através de uma empilhadeira que não consegue realizar a atividade de forma rápida e segura, contribuindo para a geração de estoques intermediários e acidentes de trabalho. A falta de delimitação de área de circulação também pode acarretar acidentes, além de dificultar a visualização do fluxo produtivo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do método SLP foi possível diagnosticar a ineficiência do arranjo físico atual, caracterizado por fluxos cruzados, movimentação excessiva e desnecessária. É evidente que não houve um estudo de arranjo físico para a instalação dos equipamentos, sendo esse adaptado segundo a subjetividade do proprietário e do encarregado e decorrente do rápido crescimento do setor.

O modelo de *layout* que obteve maior pontuação na avaliação das atividades (*Layout C*) é o que foi elaborado exatamente como o proposto no diagrama de inter-relações de espaço, comprovando a eficiência e confiabilidade do método SLP.

Entre os sete tipos de perdas que o STP combate para atingir seus objetivos, quatro estão ligadas ao arranjo físico:

1. Perdas por espera: o *layout C* selecionado, juntamente com a inserção de uma ponte rolante para o transporte das peças, diminuirá o tempo de espera entre os processos e, conseqüentemente, os *lead times* dos produtos, pois não precisariam esperar pela empilhadeira, que muitas vezes está realizando outra atividade.

2. Perdas por transporte: o *layout C* selecionado reduz o transporte total, quando comparado ao arranjo físico atual, eliminando o transporte desnecessário.

3. Perdas por movimentação: na proposta selecionada, os postos de trabalho estão mais próximos, na sequência linear do fluxo, reduzindo desta maneira as perdas por movimentação dos operadores entre as atividades, aumentando a produtividade.

4. Perdas por estoque: no *layout C* as áreas destinadas ao estoque de matéria-prima foram reduzidas e o estoque em processo foi eliminado com o fluxo contínuo e as estações de trabalho mais próximas.

Especial atenção deve ser dada à alta redução da movimentação: cerca de 40% quando comparada ao *layout* atual. Esta movimentação é um item primordial para a Produção Enxuta, pois uma movimentação deficiente acarreta não só o transporte desnecessário, mas também o aumento do *lead time* da produção, diminuição da produtividade e geração de estoques intermediários, além de não agregar valor aos produtos.

Contudo, o *layout* selecionado satisfaz o objetivo deste trabalho, visto que o

princípio básico da Produção Enxuta que é a eliminação de desperdícios foi alcançado em quatro das sete classes de perdas a serem evitadas.

Diante dos resultados, a proposta de ampliação da área fabril foi acatada pelo proprietário da empresa, para implantação da proposta de *layout*, com o intuito de diminuir problemas como os atrasos na entrega das obras, acidentes de trabalho e baixa produtividade.

Como sugestão para trabalhos futuros, está a análise do arranjo físico após a sua instalação, a fim de demonstrar sua eficiência financeira e produtiva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEVEDO, C. R.; NOHARA, J. J. **Monografia no Curso de Administração**. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2009.

AMARAL, J.J.F. **Como fazer uma pesquisa bibliográfica**. Fortaleza, 2007.
Disponível em: < <http://200.17.137.109:8081/xiscano/courses-1/mentoring/tutoring/Como%20fazer%20pesquisa%20bibliografica.pdf>> Acesso em: 11 nov. 2011.

ANTON, C.I.; EIDELWEIN, H.; DIEDRICH, H. Proposta de melhoria no *layout* da produção de uma empresa do vale do Taquari. **Revista Destaques Acadêmicos**, vol. 4, n. 1, 2012.

BELLEI, I.H. **Edifícios Industriais em Aço**: projeto e cálculo. 5ª ed. São Paulo: Pini, 2004.

BRUMATTI, D.O. **Uso de Pré-Moldados** – Estudo e Viabilidade, 2008. 54 f. Monografia (Especialista na Construção Civil) – Universidade Federal de Minas Gerais. Vitória, 2008.

CAMPOS, F. S. **Percepção do adolescente sobre a sua inserção no mundo do trabalho**. Trabalho de Conclusão de Curso em Serviço Social. Departamento de Serviço Social, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C.A. **Administração de Produção e Operações**. 2ª ed. São Paulo: Atlas, 2009.

CORRÊA, H.L.; CORRÊA, C.A. **Administração da produção de operações**: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica. 2 ed., 2. reimpr. São Paulo: Atlas, 2007.

COSTA, A.J. **Otimização do *layout* de produção de um processo de pintura de ônibus**. 2004. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

DIEDRICH, H. **Utilização de conceitos do Sistema Toyota de Produção na melhoria de um processo de fabricação de calçados**. 2002. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

EMERIQUE, C.C.T.; CARDOSO, J.R.L.; FREITAS, F.F.T. Planejamento sistemático de *layout*: aplicação em uma empresa do ramo automobilístico. **XXXI ENEGEP**. Belo Horizonte, MG, Brasil, 04 a 07 de outubro de 2011.

FALEIROS, J.P.M.; JUNIOR, J.R.T.; SANTANA, B.M. O crescimento da indústria brasileira de estruturas metálicas e o *boom* da construção civil: um panorama do período 2001-2010. Estruturas Metálicas. **BNDES Setorial 35**, p.47-84. 2012.

Disponível em:

<http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/bnset/set3502.pdf> Acesso em: 01 set. 2012.

FERRAZ, H. O Aço na Construção Civil. **Revista Eletrônica de Ciências**. 2003.

Disponível em: <http://www.cdcc.sc.usp.br/ciencia/artigos/art_22/aco.html> Acesso em: 25 ago. 2012.

GOMES, L.P. História da Administração. **Informativo Mensal do CRA/CE, CRA em Aço**, Ano 1, nº 7, Agosto/Setembro de 2005. Disponível em:

<<http://www.cfa.org.br/download/RD1605.pdf>> Acesso em: 13 out. 2011.

HIROTA, E.H.; FORMOSO, C.T. **O processo de aprendizagem na transferência dos conceitos e princípios da produção enxuta para a construção**. 2000.

Disponível em:

<<http://www.ea.ufrgs.br/gap/download/aprendizagem%20entac2000.pdf>> Acesso em: 13 out. 2011.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Siderurgia no Brasil**. 2012. Disponível em:

<<http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/aco/siderurgia-no-brasil--desenvolvimento.asp>> Acesso em: 19 set. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAM. **Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira**. 6ª ed. 2012 Disponível em:

<<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00001455.pdf>> Acesso em: 19 set. 2012.

KRAJEWSKI, L.; RITZMAN, L.; MALHOTRA, M. **Administração de Produção e Operações**. 8ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

LIKER, J.K.; MEIER, D. **O modelo Toyota – Manual de Aplicação**: Um guia prático para a implementação dos 4PS da Toyota. Porto Alegre: Bookman, 2007.

LORENZON, I.A. **A medição de desempenho na construção enxuta**: estudos de caso. 2008. 221 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

LOUREIRO, A.B. **Planejamento de arranjo físico em uma indústria moveleira**. 2011. 72 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharias e Computação, Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2011.

LUCCHINI, J.R. **Processos de Fabricação e Montagem de Estruturas Metálicas na Construção Civil**. 146 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Anhembi Morumbi. São Paulo, 2009.

LUZZI, A.A. **Uma abordagem para projetos de layout industrial em sistemas de produção enxuta**: um estudo de caso. 2004. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

MARTINS, P.G.; LAUGENI, F.P. **Administração da Produção**. São Paulo: Saraiva, 2003.

MARTINS, V.W.B; FREITAS, F.F.T. Planejamento sistemático de *layout* (PSL): análise do *layout* de uma empresa produtora de pneus recapados. **Revista Iberoamericana de Engenharia Industrial**. Florianópolis, SC, v. 3, n. 1, p. 216-233, Julho, 2011.

MAXIMINIANO, A.C.A. **Teoria Geral da Administração**: da revolução urbana à revolução digital. 4ª ed. São Paulo: Atlas, 2004.

MEIRELLES, G. Estádios da Copa de 2014 importam estruturas. 2012. **Portal Metálica**. Artigos Técnicos. 2011. Disponível em: <<http://metalica.com.br/estadios-da-copa-de-2014-importam-estruturas>> Acesso em: 18 set. 2012.

MOREIRA, D.A. **Administração da Produção e Operações**. 2ª ed. rev. e ampl. São Paulo: Cengage learning, 2009.

MOURA, R. A. **Sistemas e Técnicas de Movimentação e Armazenagem de Materiais**. 6. Ed.rev. Instituto IMAM: São Paulo, 2008.

MULLER, C.J. **A evolução dos sistemas de manufatura e a necessidade de mudanças nos sistemas de controle e custeio**. 1996. 222 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

MUTHER, R.; WHEELER, J. **Planejamento Simplificado de *Layout*** – Sistema SLP. São Paulo: IMAM, 2008.

NETO, A.C. **Estruturas Metálicas I**. Notas de aula. 2008. PUC – Pontifícia Universidade Católica, campus Campinas.

OYAMA, R.A.; MOTA, W.S.B. **Aplicação dos Princípios da Construção Enxuta em uma obra vertical**. 2010. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia. Universidade da Amazônia. Belém, 2010.

PAÇO, T.R. **Avaliação do uso de simulação como ferramenta complementar no desenvolvimento do mapeamento do fluxo de valor futuro**. 2006. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

PEINADO, J.; GRAEML, A.R. **Administração da Produção**: operações industriais e de serviços. Curitiba: UnicenP, 2007.

PISKE, F. B. **A influência do arranjo físico nos desperdícios de uma fábrica de máquinas para implementos agrícolas**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Palo, 2008.

PORTAL METÁLICA. Aeroporto de Recife. **Arquitetura e Obras**. Disponível em: <<http://metalica.com.br/aeroporto-de-recife>> Acesso em: 16 set. 2012.

RICO, J.H. **Estudo de utilização de conceitos de produção enxuta em processos administrativos**: estudo de caso e proposta de um roteiro de aplicação. 2007. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SANTOS, C.A. dos. **Produção Enxuta**: Uma proposta de método para introdução em uma empresa multinacional instalada no Brasil, 2003. 238 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

SANTOS, L.C.; GOHR, C.F.; LAITANO, J.C.A. Planejamento sistemático de *layout*: adaptação e aplicação em operações de serviços. **Revista Gestão Industrial**. Ponta Grossa, v. 08, n. 01: p. 01-21, 2012.

SARCINELLI, W.T. **Construção enxuta através da padronização de tarefas e projetos**. 2008. 80 f. Monografia (Especialista em Construção Civil) – Curso de Especialização em Construção Civil – Departamento de Engenharia de Materiais de Construção da Universidade Federal de Minas Gerais, Vitória (ES), 2008.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção**: do ponto de vista da Engenharia de Produção. Porto Alegre: Bookman, 2008.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2009.

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

SILVA, E.L.da; MENEZES, E.M. **Metodologia da Pesquisa e elaboração de Dissertação**. 3ª ed. ver. atual. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.

SILVA, L.M.P. **Avaliação de desempenho em empresas que adotam a produção enxuta como escolha estratégica**. 2006. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

SOARES, A.C. **Diretrizes para a manutenção e o aperfeiçoamento do processo de planejamento e controle da produção em empresas construtoras**. 2003. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Curso de Mestrado Profissionalizante da Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

TORTORELLA, G.L. **Sistemática para orientação do planejamento de layout com apoio de análise de decisão multicritério**. 2006. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

VIEIRA, R.E. **A Tecnologia Moderna como herança da Revolução Industrial do século XVIII**. 2011. Disponível em:
<<http://www.artigosbrasil.net/art/vari0s/2144/tecnologia-moderna.html%22>> Acesso em: 18 nov. 2011.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T. **A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza**. Elsevier: Rio de Janeiro, 2004.

YIN, R.K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Tradução de Daniel Grassi. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.